НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Оптичних та оптико-електронних приладів
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 681.785

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В. Г. Колобродов
(підпис) (ініціали, прізвище)
"___"_____2020р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації):151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

на тему: Підвищення ефективності телевізійної системи керування автомобіля

Виконав: студент 6 курсу, групи ПО-81 мн
(шифр групи)

Стаднічук Вячеслав Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н. Колобродов В. Г. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант стартап-проект д.е.н., доцент, Бояринова К.О. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.т.н., с.н.с. Рябоконь Д.І. _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

РЕФЕРАТ

Стаднічук В.С. Підвищення ефективності телевізійної системи керування автомобілем. – Наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності телевізійної системи керування автомобілем.

Актуальність теми. В даний час комп'ютеризація в нашому суспільстві розвивається швидкими темпами і відіграє величезну роль в житті людини. За допомогою комп'ютерних технологій автоматизується широке коло процесів, які в недалекому минулому покладалися на людину. А з використанням оптико-електронних пристроїв вдається вирішувати задачі, які неможливо вирішити іншими шляхами. Рішення проблеми розпізнавання і обробки зображень і, як наслідок, запобігання аварійної ситуації на дорозі є досить важливим аспектом безпеки і контролю дорожньої ситуації. Системи активної безпеки дозволяють коригувати помилкові дії водія, уникати екстрених ситуацій, підвищити безпеку дорожнього руху.

«Електронні асистенти», в основному, використовують ультразвукові датчики. Вони дозволяють тільки визначити наявність перешкоду і відстань до нього. А введення оптичних сенсорів дає цілий спектр корисної інформації, від наявності перешкоди до його розмірів, відстані, траєкторії руху.

Актуальною, затребуваною і цікавою темою цього проекту є аналіз і розробка власного універсального приладу «консультування» водія (ADAS) в питанні активної безпеки.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є досягнення максимального узгодження оптичної системи телевізійних систем керування автомобілем, покращення роздільної здатності і якості отримуваного

зображення за рахунок вибору параметрів об’єктива, підвищення ефективності та адаптація під всі види транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі поставлені наступні задачі:

1. Обґрунтувати вимоги до характеристик телевізійних систем керування автомобілем.
2. Досягти критерію узгодження просторової роздільної здатності об’єктива і ПЗЗ приймача для телевізійних оптичних систем та впливу кута нахилу системи відносно дороги на кінцеве зображення.
3. Вдосконалити математичну модель обробки вихідного сигналу методами DSP обробки.
4. Розробити стартап-проект оптико-електронного детектора дорожньої розмітки.

Об’єкт дослідження. Процес реєстрації оптичного випромінювання приймачем випромінювання та його подальша обробка.

Предмет дослідження. Телевізійні системи керування автомобілем.

Наукова новизна. Вперше розроблена швидка методика детектування та локалізації дорожньої розмітки за допомогою алгоритмів згортки та кореляції сумісно із атермальним об’єктивом. Розроблено програмне забезпечення для автоматичної обробки зображень для локалізації розмітки. Проведено аналіз розрахованих методик на реальних даних.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для розв’язання даних поставлених задач використовується:

1. Аналітичні методи, засновані на застосуванні апарату геометричної оптики, теорії аберацій оптичних систем, проектування та контролю телевізійних систем, алгоритми розпізнавання дорожньої розмітки.
2. Використання програмного пакета «MatLab» та «Python» для моделювання різноманітних дорожніх ситуацій та розробки алгоритму розпізнавання розмітки, досягнення вдосконалення критеріїв.

3. Комп’ютерне моделювання і оптичний розрахунок різних телевізійних оптичних систем в програмі «PODIL» з абераційним і енергетичним аналізом якості отримуваного зображення.

4. Використання різних методик оцінки роздільної здатності та якості отримуваного зображення телевізійних систем з ПЗЗ приймачем.

Магістерська дисертація складається з чотирьох розділів.

У першому розділі проаналізовано основні переваги і недоліки існуючих систем керування автомобілем та методів цифрової обробки зображень.

У другому розділі приведено загальну фізико-математичну модель телевізійної системи керування автомобілем та розроблено атермальний об’єктив.

Третій розділ присвячено огляду, аналізу та вибору методу цифрової обробки зображень для задачі детекції дорожньої розмітки.

Четвертий розділ присвячено розробці стартап-проекту «Телевізійна система керування автомобілем» і аналізу перспектив входження розробки на ринок з маркетологічної точки зору.

В процесі розробки дисертації було написано наступні роботи:

1. Оптико-электронный детектор дорожной разметки, Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 55(1), 05 квітня 2018 року

2. VIII International Conference on Optoelectronic Information Technologies PHOTONICS – ODS 2018, 2 – 4 жовтня 2018р.

3. 11-я международная научно-техническая конференция молодых учёных и студентов «Новые направления развития приборостроения», 18 – 20 квітня 2018р.

4. X Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 16 – 17 травня 2017р.

5. XIII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 12 квітня 2017р.

6. 1. XI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018р.

7. Распознавание человека по термографическому изображению, Збірник наукових праць третьої Української науково-технічної конференції «Спеціальне приладобудування: стан та перспективи», 4-5 грудня 2018р.

8. Алгоритм распознавания человека по термографическому изображению, Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 55(1), 05 квітня 2018 року

9. Детектування дорожньої розмітки перетворенням хафа, XII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15 – 16 травня 2019р.

Ключові слова: *оптична система, приймач випромінювання, згортка, фільтрація, смуга руху, DSP, камера, LIDAR, BEV, корекція дісторсії, цифрова обробка, оптичний потік, комп'ютерний зір, нейронна мережа*

ABSTRACT

Stadnichuk V.S. Improving the efficiency of the TV car control system. - Scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the Master's Degree in Specialty - Automation and Computer-Integrated Technologies. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to increase of efficiency of the television control system of the car.

Actuality of theme. Nowadays, computerization in our society is developing at a rapid pace and plays a huge role in human life. Computer technology automates a wide range of processes that have relied on humans in the recent past. And with the use of optoelectronic devices it is possible to solve problems that cannot be solved in other ways. Addressing image recognition and processing and, as a consequence, preventing an accident on the road is a very important aspect of road safety and control. Active safety systems allow you to correct driver misconduct, avoid emergencies, and improve road safety.

"Electronic assistants" mainly use ultrasonic sensors. They only allow you to determine the presence of an obstacle and the distance to it. And the introduction of optical sensors gives a whole spectrum of useful information, from the presence of obstacles to its size, distance, trajectory.

A topical, sought-after and interesting topic of this project is the analysis and development of our own Active Driver Advice (ADAS) device in active safety.

The purpose and objectives of the study. The aim of the dissertation is to achieve the maximum harmonization of the optical system of television control systems of the car, to improve the resolution and quality of the image obtained by selecting lens parameters, improving efficiency and adaptation to all types of vehicles.

In order to achieve this goal in the dissertation the following tasks are set:

1. To substantiate the requirements for the characteristics of television control systems of the car.

2. Achieve the criterion of spatial resolution of the lens and the CCD of the television optical systems and the effect of the inclination of the system relative to the road on the final image.

3. Improve mathematical model of output signal processing by DSP processing methods.

4. To develop a startup project of opto-electronic road marking detector.

Object of study. The process of registration of optical radiation by the radiation receiver and its subsequent processing.

Subject of study. Car TV systems.

Research methods. In the dissertation the following tasks are used to solve the data of the given tasks:

1. Analytical methods based on the application of geometric optics apparatus, theory of aberrations of optical systems, design and control of television systems, algorithms for recognition of road marking.

2. Using MatLab and Python software to simulate various road situations and to develop a markup recognition algorithm to achieve criteria improvement.

3. Computer simulation and optical calculation of various television optical systems in the PODIL program with aberration and energy analysis of the image quality.

4. The use of different methods of estimating the resolution and quality of the resulting image of television systems with CCD receiver.

The master's thesis consists of four sections.

The first section analyzes the main advantages and disadvantages of existing car control systems and digital imaging techniques.

The second section presents a general physics and mathematics model of a car television system and a thermal lens.

The third section deals with the review, analysis and selection of the digital image processing method for the task of detecting road marking.

The fourth section is devoted to the development of a startup project "TV Car Control System" and to analyze the prospects for market entry from a marketing point of view.

During the dissertation development the following works were written:

1. Оптико-электронный детектор дорожной разметки, Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 55(1), 05 квітня 2018 року

2. VIII International Conference on Optoelectronic Information Technologies PHOTONICS – ODS 2018, 2 – 4 жовтня 2018р.

3. 11-я международная научно-техническая конференция молодых учёных и студентов «Новые направления развития приборостроения», 18 – 20 квітня 2018р.

4. X Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 16 – 17 травня 2017р.

5. XIII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 12 квітня 2017р.

6. 1. XI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018р.

7. Распознавание человека по термографическому изображению, Збірник наукових праць третьої Української науково-технічної конференції «Спеціальне приладобудування: стан та перспективи», 4-5 грудня 2018р.

8. Алгоритм распознавания человека по термографическому изображению, , Вісник НТУУ «КПІ». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 55(1), 05 квітня 2018 року

Keywords: optical system, radiation receiver, convolution, filtering, bandwidth, DSP, camera, LIDAR, BEV, distortion correction, digital processing, optical flux, computer vision, neural network

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач.
БОД	Блок обробки даних.
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина.
ОЕП	Оптико-електронний прилад.
ОЗП	Оперативний запам'ятовуючий пристрій.
ПВВ	Пристрій введення-виведення.
ПЗЗ	Прилад із зарядовим зв'язком.
ПЛІС	Програмована логічна інтегральна схема.
ПОС	Пристрій обробки сигналів.
ФП	Фотоприймач.
LDW	Lane Departure Warning
ADAS	Advanced Driver-Assistance Systems
AD	Autonomous Driving
DSP	Digital Signal Processing
BEV	Bird`s Eye View

Вступ

Перший автомобіль був винайдений у 18 столітті як засіб транспортування пасажирів або товарів з одного місця в інше. Протягом століть інновації в ряді технічних дисциплін допомогли поліпшити майже всі аспекти його первинного проектування. Значно зросла і швидкість руху автомобіля. Зі збільшенням максимальної швидкості руху транспортного засобу тривалість подорожі суттєво зменшилася, що є суттєвою перевагою. Однак, збільшення швидкості має негативний вплив на безпеку автомобіля, оскільки водій має менше часу для реагування на загрозливу ситуацію. Наприклад, на автомагістралях, де транспортні засоби рухаються із високими швидкостями, наслідки помилки або відволікання водія можуть бути фатальними.

Рішення проблеми розпізнавання і обробки зображень і, як наслідок, запобігання аварійної ситуації є досить важливим аспектом безпеки і контролю дорожньої ситуації. Системи активної безпеки дозволяють коригувати помилкові дії водія, уникати екстрених ситуацій, підвищити безпеку дорожнього руху.

«Електронні асистенти», в основному, використовують оптичні й ультразвукові датчики. Ультразвукові приймачі дозволяють тільки визначити наявність перешкоди і відстань до неї. А оптичні дають цілий спектр корисної інформації, від наявності перешкоди до його розмірів, відстані, траєкторії руху [1].

Безпека є однією з найбільш важливих проблем автомобільної промисловості сьогодні. Багато механічних та електронних систем вбудовуються в сучасні автомобілі, щоб зробити їх більш безпечними для водіїв, пасажирів, пішоходів та інших транспортних засобів. Система попередження про з'їзд з полоси є однією з новітніх систем, які намагаються зробити дорожній рух безпечнішим і запобігати нещасним випадкам, пов'язаним із неконтрольованим виїздом автомобіля зі своєї полоси через

неуважність водія. Ідея цієї системи полягає в тому, щоб повідомити водія в разі, коли автомобіль починає рухатись за межами своєї полоси, але цей рух є випадковим [2].

При русі автомобіль знаходиться в своїй полосі і не повинен з неї виїжджати, але водій може відволікатися від керування автомобілем, внаслідок чого транспортний засіб може почати переміщатися на сусідню смугу руху, що може привести до особливо сумних наслідків у разі переміщення на зустрічний бік дороги. За статистикою National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 40-60% всіх аварій на трасах в США прямо або побічно пов'язані з тим, що автомобіль залишає свою полосу [1].

Виходячи з даної статистики був зроблений висновок про те, що найбільш небезпечним і поширеним є вихід автомобіля за межі своєї смуги руху, що провокує серйозні ДТП. У зв'язку з цим було прийнято рішення про розробку приладу, що попереджає водія про схід з полоси руху (в перспективі - пристрій утримує автомобіль в своїй полосі).

Сучасні ринкові рішення зосереджені на методах обробки зображень та в значній мірі нехтують параметрами та характеристиками джерел інформації – камер. Саме від оптичної системи камери та її приймача залежить якість обробки отримуваної інформації.

В даній роботі розглянуті методи підвищення ефективності телевізійних систем керування автомобілем.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Обґрунтування проблеми

Протягом багатьох років ведуться роботи з боротьбою високого рівня смертності, пов'язаного з дорожнім рухом. У Південно-Східній Азії Міністерство громадської безпеки Китаю повідомило про 667 507 смертей, пов'язаних з дорожньо-транспортними пригодами в 2013 році [2], в той час як в Малайзії було зареєстровано 35 425 причин смерті в 2016 році [2]. У тому ж році Індонезія та В'єтнам повідомили про 16 548 і 12 800 жертв відповідно [2]. На Близькому Сході такі країни, як Іран, Єгипет, Саудівська Аравія, повідомили про 22 918, 12 295 і 6 358 загиблих відповідно у 2017 році [3].

Серед країн Америки США мають найвищу статистику смертей, пов'язаних з трафіком. Наприклад, Бразилія, Канада та Мексика повідомили про смертельні випадки, пов'язані з моторними транспортними засобами, у 35 155, 2 889 і 17 003 відповідно у 2016 році [3]. У тому ж році в США повідомили про загальну кількість в 42 642 жертви [3].

Згідно з переліченими вище статистичними даними, очевидно, що трагічні аварії становлять велику кількість смертельних випадків у всьому світі. Отже, вивчення нових шляхів, які покращують безпеку водія, представляють інтерес для автомобільної та суміжних галузей. Одним з таких шляхів є використання систем допомоги водіям та інших оптичних пристроїв.

Системи допомоги водію (Driver Assist - DA) - це системи, які надають допомогу водієві під час водіння. Ці системи працюють, приймаючи вхідні дані від датчиків та камер навколо транспортного засобу, щоб обчислити форму зворотного зв'язку, яка потім використовується для допомоги водію транспортного засобу. Прикладом системи DA є адаптивний круїз-контроль (Adaptive Cruise Control - ACC). ACC використовує радар або камеру для моніторингу та збереження попередньо визначеної відстані до автомобіля попереду, тим самим збільшуючи функціонал існуючої системи круїз-контролю, яка є в більшості транспортних засобів [4]. ACC проілюстровано на

Рис. 1.1, де синій автомобіль здатний підтримувати безпечну відстань до срібного автомобіля попереду, аналізуючи радіолокаційний сигнал (показаний синіми променями). Проте ця робота зосереджується лише на системах в основі яких лежать камери, зокрема на виявленні дорожньої розмітки та системах попередження про відхилення зі своєї смуги (Lane Departure Warning - LDW).

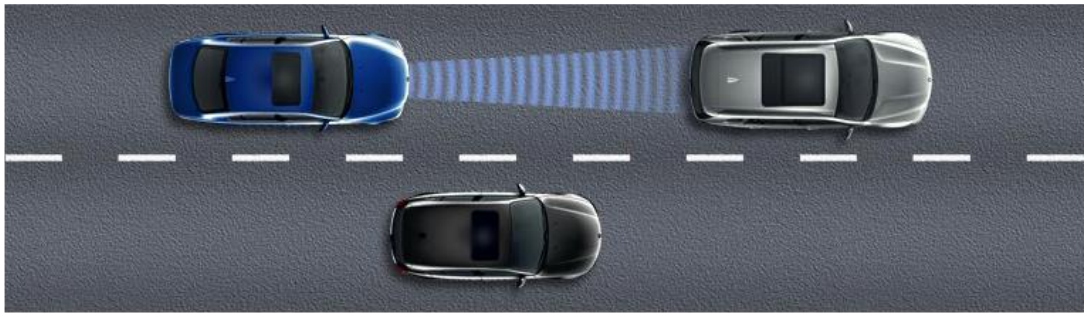
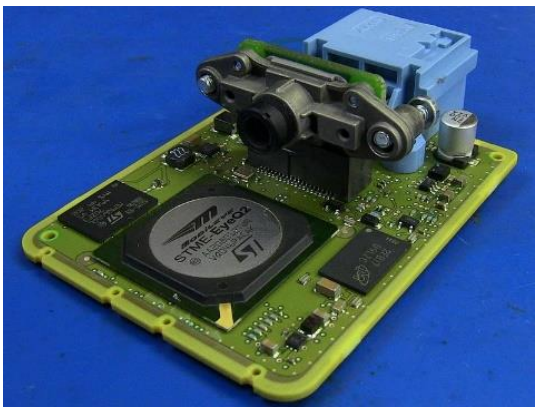


Рис. 1.1 – Приклад роботи адаптивного круїз контролю

1.2. Огляд існуючих систем

Практично всі «асистенти», які в своїй конструкції містять оптичні приймачі (відеокамеру), працюють за допомогою алгоритмів розпізнавання і обробки зображення. Загальна схема роботи доволі проста - камера приймає зображення дороги, передає його на процесор, далі процесор обробляє інформацію, що надійшла і, в залежності від ситуації на дорозі, коригує рух автомобіля через допоміжні системи. Варто відзначити, що робота електроніки не є досконалою, і досить часто трапляються збої [4].

Ринкові рішення виконуються в одному блоці, який інтегрується в автомобіль за салонним дзеркалом заднього виду та підключається до бортового комп’ютера автомобіля. Але як було зазначено раніше, такі системи не є універсальними та мобільними [4].



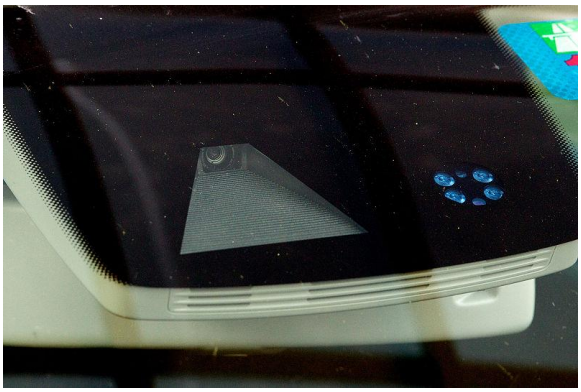


Рис. 1.2. Готові Embedded системи попередження про схід з полоси руху

Існує два основних типи систем:

• Системи, які попереджають водія (lane departure warning - система попередження про схід зі смуги, LDW - СПСС), якщо автомобіль залишає смугу (візуальні, звукові і / або вібраційні попередження)

• Системи, які попереджають водія і, якщо водій нічого не робить, автоматично роблять дії для того, щоб утримати транспортний засіб на своїй смузі (lane keeping system - система утримання смуги руху, LKS - СУСР) [5]

Перша система (СПСС) виконує виключно «консультування» водія, не маючи можливості втручатися в керування транспортним засобом. Така система є класичним представником концепції ADAS. Розширена система допомоги водієві («Advanced driver assistance systems», ADAS) - це системи, які допомагають водієві в процесі руху. Вони повинні підвищити безпеку керування автомобілем і, в цілому, безпеку дорожнього руху [5].

А друга система (СУСР) має можливість втручання в керування авто та стабілізації аварійної ситуації. Вона містить елементи концепції автономного керування (AD). Автономний автомобіль (Autonomous Driving) - безпілотний наземний транспортний засіб, який здатний до відчуття його оточення і навігації без участі людини [6].

Системи попередження про схід зі смуги і системи утримання смуги грунтуються на:

• Відео-датчиках в зорової області (встановлюються за лобовим склом, типово вбудовування біля дзеркала заднього виду) [6]

Рис. 1.3. Відео-датчики зорової області

• лазерних датчиках LIDAR (встановлюються на передній частині транспортного засобу) [6]

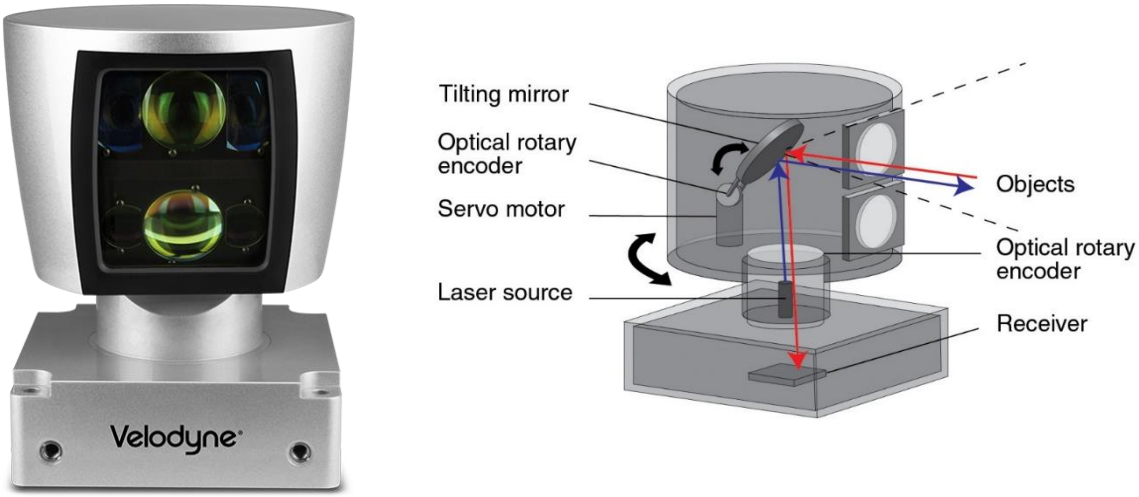


Рис. 1.4. Лазерний датчик (LIDAR)

• Інфрачервоних датчиках (встановлюються під лобовим склом або під днищем автомобіля)

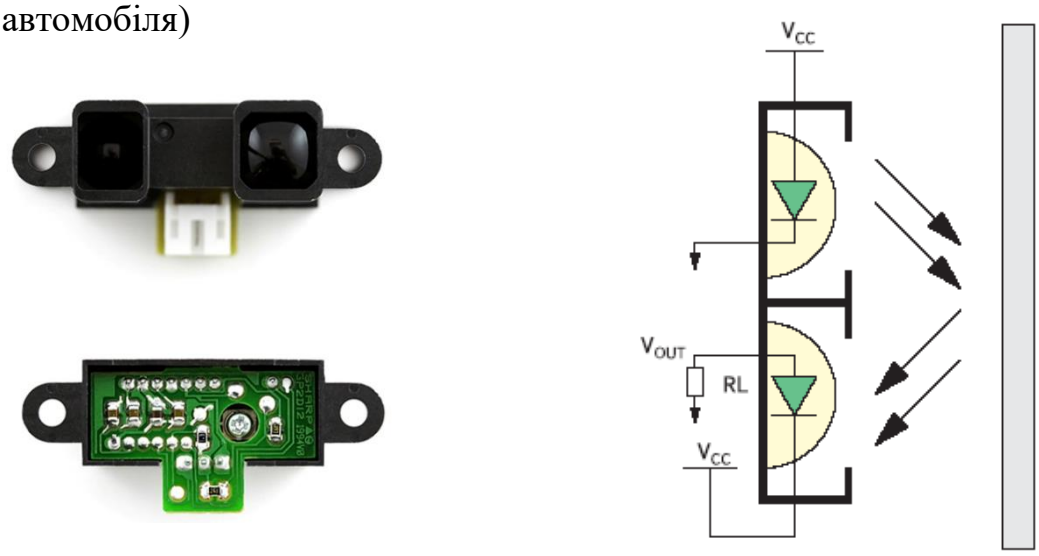


Рис. 1.5. Інфрачервоний датчик

Найбільш вдалою вважається комбінація цих трьох типів датчиків в один пристрій, оскільки так досягається найбільша точність роботи. Наприклад, відео-датчик вважається найбільш інформативним, але він не може працювати вночі або в умовах недостатньої видимості, на відміну від лазерного та ІЧ-датчика [6].

1.3. DA системи, засновані на камерах

Виявлення на розмітки за допомогою камер може бути описане як проблема оцінки меж смуги, за допомогою білих або жовтих смуг на дорожній поверхні. Обладнання для системи виявлення смуги складається з однієї або декількох камер, які направлені на дорогу вперед, зазвичай розмішуються під лобовим склом автомобіля. Ці камери отримують дані у вигляді зображень дорожнього покриття, які аналізуються для вилучення особливостей, які відповідають бажаним критеріям розмітки. Апаратне обладнання детектора розмітки та приклад його фоно-цільової обстановки (ФЦО) показані на Рис 1.6.

а) Обладнання для детектування розмітки б) Приклад дорожньої розмітки

Рис.1.6. Lane Detection

Lane Departure Warning - важлива система DA, яка постійно відстежує положення автомобіля по відношенню до маркерів смуги руху. Якщо транспортний засіб відхиляється від заданого курсу по відношенню до розмітки, водій повідомляється і може бути вжито коригувальний захід. Використовуючи LDW, ненавмисне відхилення зі своєї смуги руху, викликане відволіканням водія, втомою може бути скориговане автомобілем автоматично, тим самим підвищуючи рівень безпеки на дорогах. Ілюстрація діючої системи LDW показана на рис. 3, де транспортний засіб збирається змінити смуги руху, в салоні пролунає сигнал тривоги [7].

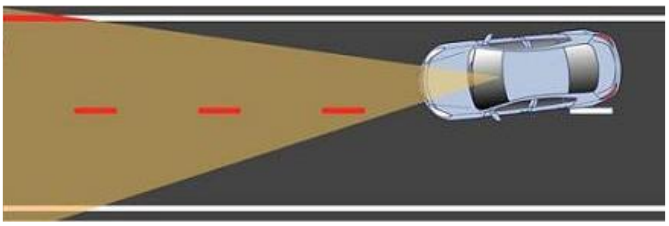


Рис.1.7. Приклад роботи LDW

Вимоги до телевізійної системи

До телевізійних систем керування автомобілем ставляться наступні вимоги:

1. Детектор смуги повинен мати можливість виявляти розмітку на дорозі.

2. Детектор смуги повинен працювати в таких умовах:

а) при наявності стаціонарних або рухомих транспортних засобів попереду і в сусідніх смугах;

б) при наявності суцільної або переривчастої лінії;

в) на прямих і вигнутих ділянках дороги;

г) при наявності текстурних змін доріг і деформацій;

д) при наявності тіней і умов динамічної зміни освітлення.

3. Детектор розмітки повинен бути перевірений за допомогою принаймні 40 секундного відео або 1200 зображень, які були записані під час руху по міських дорогах або автомагістралях і зі швидкістю вище 50 км / год. Не повинно бути синтетичних даних [7].

1.4 Детектори дорожньої розмітки

Як було обговорено у вступі, системи допомоги водію (DA) - це системи, які надають допомогу водієві під час руху. Системи DA функціонують, приймаючи дані від датчиків навколо транспортного засобу для обробки зворотного зв'язку, який потім використовується для допомоги водію транспортного засобу. Чудовим прикладом системи DA є адаптивний круїз-контроль (ACC). Тут використовується радіолокаційний датчик для визначення відстані до транспортного засобу попереду. Потім ця відстань використовується як вхід системою ACC для регулювання швидкості автомобіля під час круїз контролю, одночасно підтримуючи попередньо задану мінімальну відстань до транспортного засобу попереду [8]. Окрім радіолокаторів, використовуються LIDAR, GPS (Global Positioning System) та

камери. Однак у цій роботі основна увага приділяється системам DA на основі камер. Цей тип систем DA часто складається з однієї або декількох камер, розміщених таким чином, щоб вони мали огляд з лобового скла. Камери отримують зображення, які обробляються для визначення необхідних параметрів. Деякі приклади DA систем на базі камер включають LDW (попередження про від'їзд смуги руху), LCW (попередження про зміну смуги руху) та інтелектуальне управління фарами (IHC). У LDW постійно контролюється положення транспортного засобу на смузі руху. Якщо транспортний засіб знаходиться на певній критичній відстані від межі смуги руху, тоді водій повідомляється про ризик виїзду зі смуги руху, якщо не виконані певні критерії [9]. Так само в LCW сліпа зона транспортного засобу постійно контролюється для подальшого руху. Якщо транспортний засіб виявлено на сусідній смузі, водій повідомляється, що змінювати смугу руху небезпечно [9]. Нарешті, IHC виключає осліплення зустрічних автомобілей вночі. Це робиться шляхом перемикання фар з дальнього світла на ближнє за наявності зустрічних транспортних засобів [10]. Основою для описаних вище систем є виявлення смуги руху.

Наприклад, у LDW розташування транспортного засобу в межах смуги руху може визначатися за допомогою положення меж смуги руху щодо транспортного засобу. Аналогічно, у LCA виявлення смуги руху використовується для визначення того, чи виявлені автомобілі на сусідніх смугах руху. Нарешті, в IHC виявлення смуги руху використовується для визначення того, чи виявлені фари або задні фонарі, які належать транспортним засобам, а не артефактам, тим самим зменшуючи помилкові виявлення. Виходячи зі сказаного вище, зрозуміло, що виявлення смуг руху - важлива задача. Отже, метою цієї роботи є детальне висвітлення виявлення смуги руху: як це робиться, як тестується, як оцінюється і т. д.

1.5 **Набір даних для перевірки алгоритму**

Для правильної оцінки роботи кінцевого приладу необхідно порівняти отриманий результат з еталоном, який є в даній галузі. Але такого еталону не існує. В багатьох публікаціях, у спільноті виявлення розмітки більшість публікацій не порівнюють свою роботу з іншими, а корінь цієї проблеми полягає у відсутності вихідного коду. Окрім відсутності інформації в публікації, реалізація чужого винаходу може бути дуже тривалою та трудомісткою, тому її уникають. Але стандартизованих наборів даних немає, внаслідок чого більшість публікацій перевіряють свої алгоритми на індивідуальних наборах даних, які є власними та недоступними громадськості. Крім того, не існує встановлених або стандартизованих показників ефективності, які б використовувалися для систематичної оцінки детекторів розмітки. Цьому сприяє також відсутність істини на місцях майже у всіх наборах даних. Як наслідок, більшість оцінок проводиться виключно на візуальному огляді і може призвести до упередженості результатів. Виходячи з вищенаведених міркувань, зрозуміло, що порівняння з іншими методами є досить складним. В результаті встановлення спільної бази або стандарту для порівняння на даний момент неможливо.

Можна сказати, що уважне вивчення методів з декількох публікацій, що цитувалися багато разів, є хорошим показником загальної методики, що використовується для порівняння. Однак слід зазначити, що виявлення смуги є проблемою системного рівня. В результаті, детектор смуг складається з декількох компонентів або блоків у своєму макеті, які цілісно виробляють результат локалізації дорожньої розмітки. Отже, якщо публікація згадується багато разів, посилання часто відповідає певному компоненту в детекторі розмітки, а не цілому детектору. Наприклад, алгоритм GOLD від Bertozzi et al [11] цитувався понад 500 разів. Проте більшість публікацій, які стосуються алгоритму GOLD, наводять лише окремий компонент у своєму макеті, який називається зворотнім зіставленням перспективи, а не весь детектор смуг.

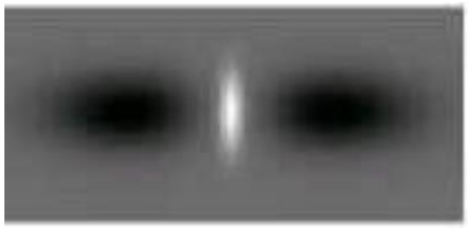
Таким чином, можна ввести в оману вивчення публікації, що базується виключно на кількості разів, на які вона посилалася. У результаті було вирішено розглянути лише публікації, які відповідають заданим вимогам. Крім того, комерційні продукти майже не приймалися до уваги, такі як детектор розмітки, розроблений Mobil-eye та Iteris. Причина цього полягає в тому, що комерційні продукти не надають деталей щодо їх реалізації, даних, що використовуються в тестуванні, а також показників ефективності, що використовуються при оцінці. В результаті їх не тільки неможливо відтворити, але й якість їхніх оцінок також сумнівна. Після аналізу літератури було обрано публікацію із найближчими вимогами. Саме за нею [12] будемо оцінювати роботу алгоритму.

1.6 Детектування розмітки перетворенням Хафа

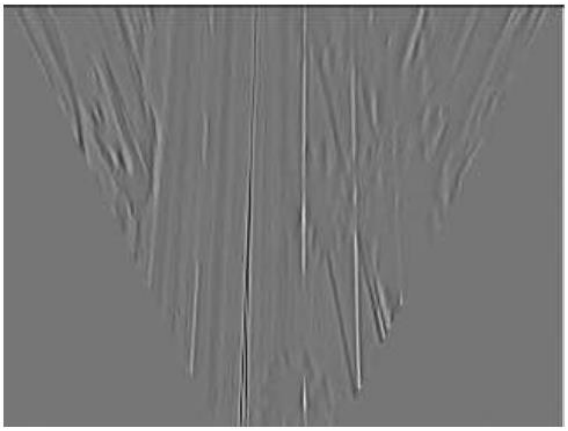
Цей алгоритм був розроблений Алі [13] і був використаний командою Caltech в 2007 році у Darpa Urban Challenge для знаходження смуги на дорогах [14]. Його методологія йде шляхом перетворення захопленого кольорового зображення на зображення у градаціях сірого, яке складається тільки з червоного кольорового каналу із вихідного зображення. Потім, використовуючи параметри калібрування камери, такі як висота, кут поля зору та фокусна відстань, зображення у градаціях сірого перетворюється на зображення «згори» за допомогою перетворення Inverse Perspective Mapping (IPM) [15]. Деталі цієї трансформації будуть розглянуті в наступному розділі. Зразок вхідного зображення і перетворене зображення у градаціях сірого показано на рис 1.8.

Рис.1.8 – Перетворення зображення з камери на зображення IPM

Крім того, це ядро налаштоване для виявлення розмітки шириною 6 дюймів. Потім результуючий фільтрований образ піддається пороговій обробці, яка використовується для збереження фактичних значень пікселів відфільтрованого зображення над порогом без перетворення зображення в двійкову. Приклад 2-D ядра, зображення та фільтрованого зображення після порогової обробки показано на рис. 1.9, маркери розмітки знаходяться на зображенні.



А) Ядро фільтру



Б) Зображення після фільтрації

В) Зображення після порогової обробки

Рис. 1.9 – Фільтрація IPM зображення

Далі на зображення накладається перетворення Хафа (Hough transform). На рис. 1.10 показані лінії, які виявляються на зображенні в результаті використання перетворення Хафа. Потім навколо кожної знайденої лінії встановлюється невелике вікно, і знову виконується RANSAC (метод оцінки параметрів). Ідентифікатори, що детектуються за допомогою RANSAC, використовують сплайни Безьє. У кожній ітерації генерується новий сплайн Безьє, якому присвоюється оцінка. Цей бал обчислюється, виходячи з кривизни сплайна, тобто формула оцінювання сприяє більш прямим сплайнам, що дає більш високу вірогідність визначення розмітки. Результатом є набір сплайнів, які представляють виявлені межі смуги на Рис 1.10. Нарешті, крок постобробки використовується, щоб спробувати краще локалізувати сплайн і розширити його в зображенні у градаціях сірого. Результатом цієї методології є детектор розмітки, який здатний виявляти розмітку на міських дорогах і автомагістралях, і в різних умовах освітлення. Деякі зображення розрахункових меж смуги показані на Рис. 1.11. Детектор смуги проходить випробування на більш ніж 1200 знімках і систематично оцінюється шляхом порівняння оцінок з істинною основою по всій довжині кривої.

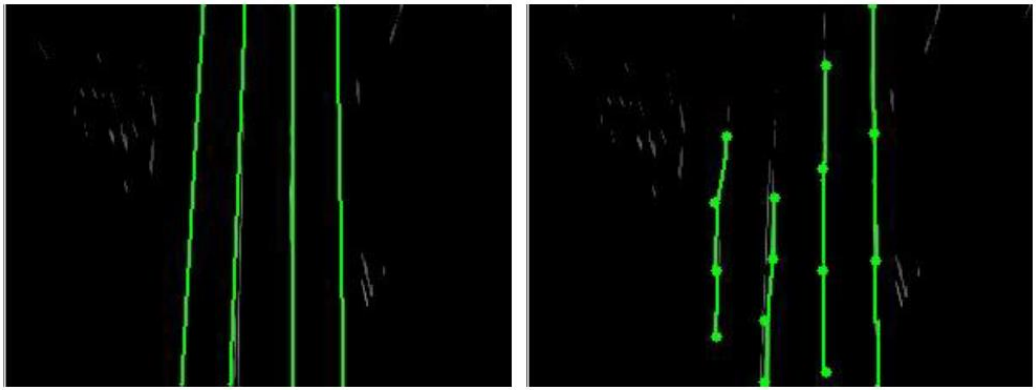


Рис. 1.10 – Детектування розмітки перетворення Хафа та виділення сплайнами

Рис. 1.11 - Детектування розмітки перетворення Хафа та віділення сплайнами під час керування автомобілем

Хоча описана вище методологія демонструє добрі результати, очікується, що вона зіткнеться з декількома проблемами. Наприклад, поточний підхід застосовує поріг та обирає пікселі, що відповідають значенням інтенсивності вищим за 2,5% від оригіналу зображення. Очікується, що цей підхід буде добре працювати, коли об'єкти відповідають 2-D ядру фільтра. Однак можуть бути випадки, коли розмітки немає на дорозі. У таких ситуаціях фотографічне зображення буде заповнено значеннями низької інтенсивності, що відповідають артефактам і випадковим об'єктам на дорозі. Однак ці низькі значення інтенсивності можуть бути вище 2,5% від вихідної інтенсивності на зображенні. Як результат, випадкові об'єкти і артефакти можуть викликати помилкове розпізнавання. Крім того, сплайни використовують ці помилкові виявлення для отримання оцінок розмітки. Деякі приклади цих неправильних оцінок показані на Рис. 1.12, де немає розмітки, але алгоритм випадково оцінює її на дорозі. Також розмітка виявляється незалежно від одного зображення до іншого. Отже, при наявності шуму або випадкових помилкових виявленнях розмітки, детектована розмітка на зображенні може рухатися і швидко змінювати своє положення між кадрами. Цей підхід не враховує ефекту перспективи на зображенні. Як результат, цей метод забезпечує більшу вагу помилок, які знаходяться поблизу транспортного засобу, на відміну від помилок, які знаходяться біля горизонту.

Проте, помилки повинні мати однакову вагу незалежно від їх положення щодо транспортного засобу.

Рис. 1.12 – Не коректна робота алгоритму

Протягом багатьох років були розроблені численні підходи для виявлення розмітки на дорозі, і кожен підхід давав різні результати. Алгоритм Алі [16] є хорошим підходом при вирішенні проблеми виявлення смуги руху. Але існують певні ситуації, які потребують поліпшення. Виходячи з вище сказаного у цьому розділі, зрозуміло, що виявлення смуги не є вирішеною проблемою. Це мотивація для подальших досліджень нових алгоритмів, які дають кращі результати.

1.7 Детектування розмітки методом «Оптичного потоку»

Оптичний потік — це представлення видимого сліду руху об'єктів, поверхонь, і граней візуальної сцени, що спостерігається під час відносного руху між спостерігачем (наприклад, око людини або камера) і сцени. [17]

Поняття оптичного потоку була запропоноване американським психологом Джеймсом Дж. Гібсоном у 1940-х роках для опису візуального стимулу (сигналу), що виникає у тварин, які рухаються у просторі відносно довколишнього середовища.

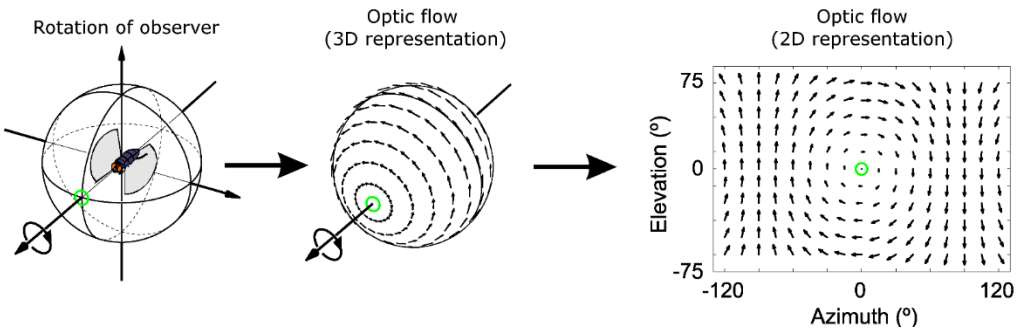


Рис. 1.13 - Оптичний потік, який сприймається спостерігачем, що обертається. Напрямок та величина оптичного потоку в кожній позиції представлено стрілками відповідного напрямку і довжини.

Сенсор оптичного потоку це датчик зору здатний вимірювати оптичний потік або візуальний рух і видавати результат вимірювання на основі оптичного потоку. Існує багато різних конфігурацій таких сенсорів. Це може бути датчик зображення з'єднаний з процесором, на якому виконується запрограмований алгоритм оптичного потоку. Інша конфігурація використовує зоровий чип, що виконаний у вигляді інтегральної схеми, що містить і датчик зображення і процесор в одному кристалі, у вигляді компактного пристрою.[17, 18] Прикладом цього є звичайний датчик оптичної миші, що використовується в оптичних мишах. В деяких випадках використовуються можуть використовуються обчислювальні схеми з використанням аналогових схем із змішаними сигналами, для швидких розрахунків оптичного потоку при мінімальному споживанні струму.

Одною із сфер сучасних досліджень є використання техніки нейроморфної інженерії для реалізації схем, які сприймають оптичний потік, і таким чином можуть бути використані як оптичний датчик.[18] Такі схеми черпають ідеї з біологічних нейронних мереж, і за схожим принципом сприймають оптичний потік.

Для детекції розмітки застосовується неоднозначний підхід, використовуючи метод оптичного потоку Лукаса-Канаде (L-K) та техніку виявлення на основі трансформації Хаффа для його впровадження для

підвищення загальної продуктивності системи. Оптичне відстеження точки потоку використовується, коли межі смуги руху не можуть бути знайдені на зображеннях, тоді як техніка виявлення смуги руху використовується, коли маркери смуги руху стають доступними. Вбудована камера постійно знімає зображення в режимі реального часу для обробки. Тим часом система LDW перевіряє, чи є маркери смуги руху, якщо вони є, то ця інформація використовується для визначення бічного положення транспортного засобу; а якщо ні, то методика оптичного потоку L-K застосовується для виправлення кута руху автомобіля та на основі цієї інформації для визначення бічного положення транспортного засобу. [18]

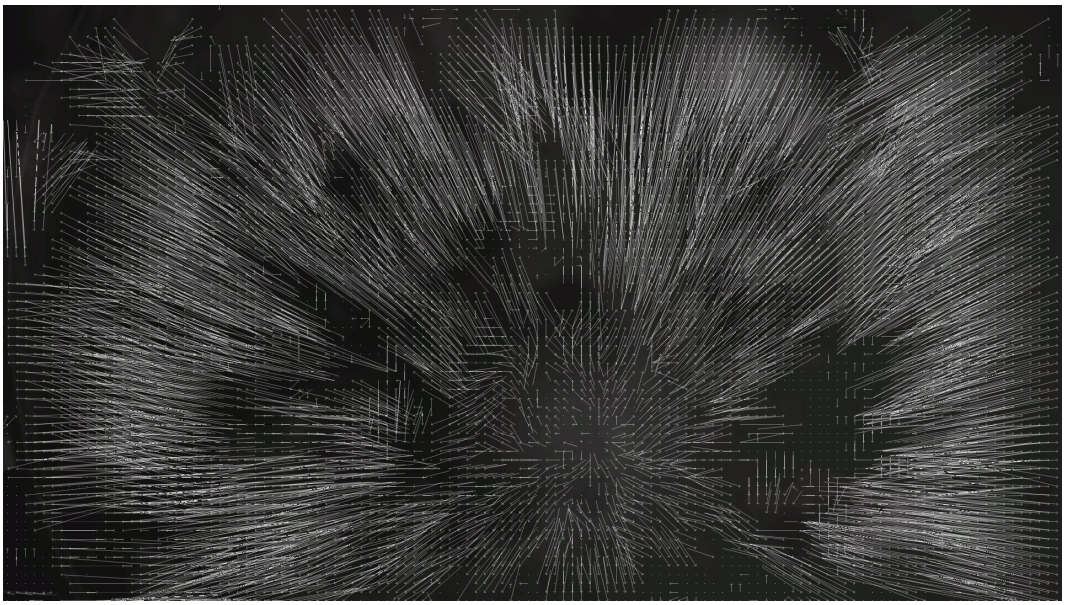


Рис. 1.14 – Приклад оптичного потоку об’єкту

Рис. 1.15 – Приклад оптичного потоку розмітки та автомобіля

Оптичний потік може дати важливу інформацію про просторове розташування об'єктів, що рухаються, та швидкість зміни цього розташування. Існує кілька методів визначення оптичного потоку, включаючи метод фазової кореляції [19], блок-метод [20], диференціальний метод [14, 20] та метод дискретної оптимізації [21] та ін. Алгоритм L-K ґрунтується на таких трьох припущеннях: (a) сталість яскравості, (b) часова стійкість (мається на увазі "малі рухи") та (c) просторова узгодженість [21]. Перше припущення означає, що піксель із зображення предмета в сцені не змінюється на вигляд, оскільки він рухається від кадру до кадру. Тобто яскравість пікселя не змінюється, оскільки він відстежується від кадру до кадру. Друге припущення просто означає, що рух зображення змінюється повільно з часом, тобто рух повільний відносно частоти кадрів. Третє припущення передбачає, що сусідні точки в сцені залишаються сусідами. Іншими словами, сусідні точки належать одній поверхні, мають схожий рух і виступають на сусідні точки в площині зображення. Метод намагається обчислити рух між двома кадрами зображення, які приймаються в наступні моменти часу на кожній позиції пікселя. Цей метод також називають диференційованим, оскільки він заснований на наближенні локального ряду Тейлора до сигналу зображення;

тобто він використовує часткові похідні щодо просторових та часових координат.

На Рис. 1.15 продемонстровано метод оптичного потоку L-K для визначення кута нахилу автомобіля за допомогою обробки зображень. Рух, отриманий від кожного фрагменту, накопичується для отримання бічного положення камери, таким чином, бічного положення транспортного засобу відносно його попереднього положення. Було використано вибір функції та відстеження послідовних зображень зверху, методом оптичного потоку [21, 22]. Точка нашого інтересу до зображення - це точка, яка має чітко визначене положення і може бути чітко виявлена та відстежена. Вибір / виявлення та відстеження функцій ґрунтуються на зображеннях, що переглядаються зверху. У кожному часовому діапазоні визначається набір "хороших" ознак (або "кутів"). Функції відстеження - це пункти, які містять достатню кількість інформації, яку можна вибрати з поточного кадру до наступного кадру. Вони повинні мати сталість яскравості, достатню різницю текстури і не сильно деформуватися з часом [15]. Точки, що відслідковуються, називаються "кутами", а слова "кут" і "особливість" іноді використовуються як взаємозамінні в літературі. Якщо ми обираємо точку, яка є унікальною (тобто «хороша» особливість) у кадрі зображення, то ми маємо досить хороші шанси знайти цю точку знову в наступному кадрі зображення. На практиці обрана нами точка або особливість повинна бути унікальною або майже унікальною і повинна бути параметризованою таким чином, щоб її можна було порівняти з іншими точками іншого зображення. Найчастіше визначення кута було надано Гаррісом [22] на основі похідних другого порядку інтенсивності зображення. Однак у [16] замість методу Гарріса ми використовували метод Ши та Томасі [27] для визначення хороших кутів (особливостей).

1.8 Детектування розмітки методом глибокого навчання

Більшість традиційних методів виявлення розмітки працюють за допомогою низькорівневих ознак, такі як колір, межа тощо. Ці функції низького рівня можуть поєднуватися із перетворенням Хаффа [5] та фільтром Калмана [6], а комбіновані функції генерують інформацію про сегмент смуги. Ці методи прості і можуть бути адаптовані до багатьох різних середовищ без значних модифікацій, але продуктивність цих методів залежить від тестового середовища, такого як умови освітлення та оклюзія.

Методи глибокого навчання мають видатні показники на складній сцені. Серед лідерів методів глибокого навчання – згорточні нейронні мережі (CNN), які застосовуються в галузі комп'ютерного зору. Методи семантичної сегментації часто застосовуються до проблеми виявлення смуги для висновку про форму та розташування смуг [9, 10].

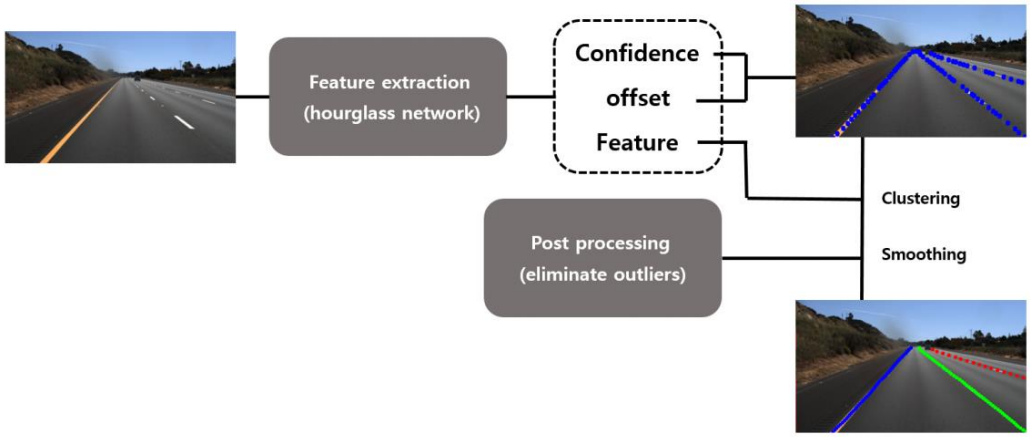


Рис. 1.16 – Приклад детектування дорожньої розмітки за допомогою нейронної мережі

Ці методи розрізняють екземпляр та мітку пікселів на цілому зображенні. Незважаючи на те, що ці методи досягають видатних показників, їх можна застосовувати лише до сцени, яка складається з фіксованої кількості смуг, завдяки їхньому багатокласовому підходу до розрізнення кожної смуги. Невен та ін. [11] поставив цю проблему на сегментацію екземпляра. LaneNet, яку вони запропонували, має спільний кодер для вилучення функцій та два

декодери. Один з них виконує сегментацію двійкової смуги, а інший - вбудовує гілку, наприклад сегментацію. Оскільки LaneNet застосовує метод сегментації екземпляра, він може виявити довільну кількість смуг.

Chen та ін. [12] пропонують мережу, яка прогнозує безпосередньо значення x осі для фіксованих значень y на кожній смузі, але метод працює лише на виявлення вертикальної смуги.

Мережа пісочних годинників [13] зазвичай застосовується до поля оцінки ключових точок, як оцінка пози [14] та виявлення об'єктів [15, 16].

Мережа пісочного годинника може витягувати інформацію про різні масштаби шляхом послідовностей відбору проб вниз та відбору проб. Якщо деякі мережі пісочного годинника складені, функцію втрат можна застосувати до кожної складеної мережі, і це допоможе більш стабільному навчанню. Методи сегментації екземплярів в області комп'ютерного зору можуть генерувати кластери пікселів, що належать кожному екземпляру [17, 18]. Активне розроблення на основі камери виявлення смуг руху, і багато сучасних методів майже повністю працюють у деяких наборах загальнодоступних даних. Однак у цих методів є деякі слабкі місця, такі як обмежена кількість смуг, які модуль може виявити, і високі помилкові значення. Неправдиві негативи, смуги, які модуль пропускає для виявлення, не змінюють значення керування раптово, і правильні значення керування можуть бути обчислені іншими виявленими смугами. Однак хибний позитив може призвести до серйозних ризиків. Помилкові позитивні помилкові смуги, на які спрацьовує модуль, можуть спричинити швидку зміну контрольних значень.

На Рис.1.16 показано запропоновані рамки для виявлення смуг руху. Він має три вихідні гілки та прогнозує точне розташування та особливості екземпляра точок на смугах. Підсумовуючи, є основні внески цього підходу:

1) Пропонується новий метод виявлення смуги, який має більш компактний розмір виходу, ніж методи, засновані на семантичній сегментації, а компактний розмір може економити пам'ять модуля.
2) Запропонований метод після обробки може успішно ліквідувати хибні значення детектора та збільшує продуктивність.
3) Запропонований спосіб може бути застосований до різних сцен, які включають будь-які орієнтовані смуги, такі як вертикальна або горизонтальна смуга, і довільну кількість смуг.
4) Результат оцінювання запропонованого способу має нижче хибнопозитивне співвідношення, ніж інші методи, та ефективність точності, і це гарантує стабільність автономного керування автомобілем.

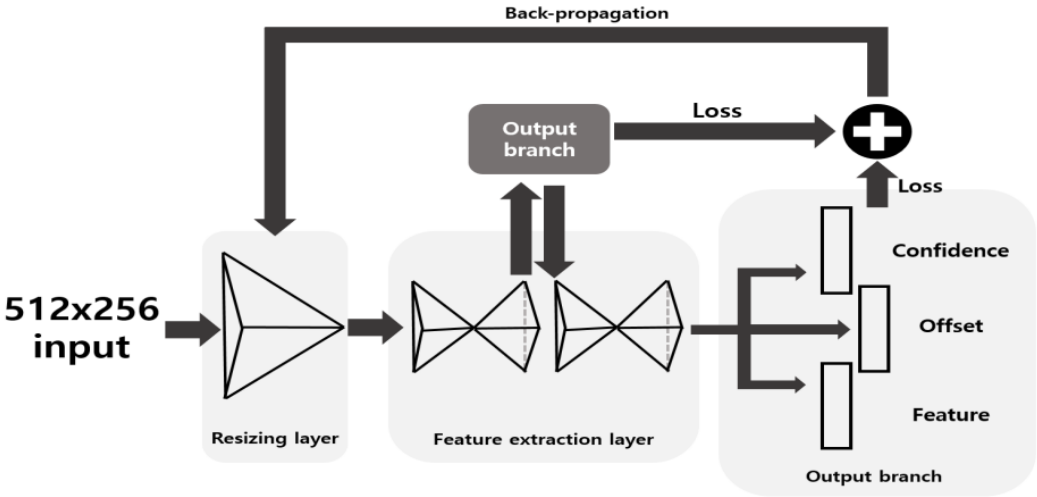


Рис. 1.17 – Приклад мережі PINet

PINet генерує очки та розрізняє їх у кожному випадку. На Рис.1.17 показана детальна архітектура запропонованої мережі. Розмір вводу - 512x256, і він передається змінній шару та шару вилучення функції. Вхідні дані, що мають розмір 512x256, стискаються в менший розмір послідовністю шарів згортки та максимумів шарів об'єднання. Далі данні передаються до наступного шару розмірністю - 64x32 та 32x16. Екстракційний шар продукований мережею забезпечує надзвичайну ефективність при

прогнозуванні ключових моментів. PINet включає два блоки пісочного годинника для вилучення функції. Кожен блок має три вихідні гілки, і розмір вихідної сітки такий же, як і розмір вхідного розміру. На Рис.1.18 показана детальна архітектура блоку пісочного годинника. Блакитні поля позначають шари вузьких проб, що відбираються, зелені поля позначають однакові шари вузьких місць, а помаранчеві прямокутники позначають шари вузьких проб вгору. Як нормалізація та функція активації застосовуються Relu після кожного згорточного шару, за винятком випадків, коли вони застосовуються в кінці вихідної гілки. Кількість фільтрів у вихідній гілці визначається вихідними значеннями.

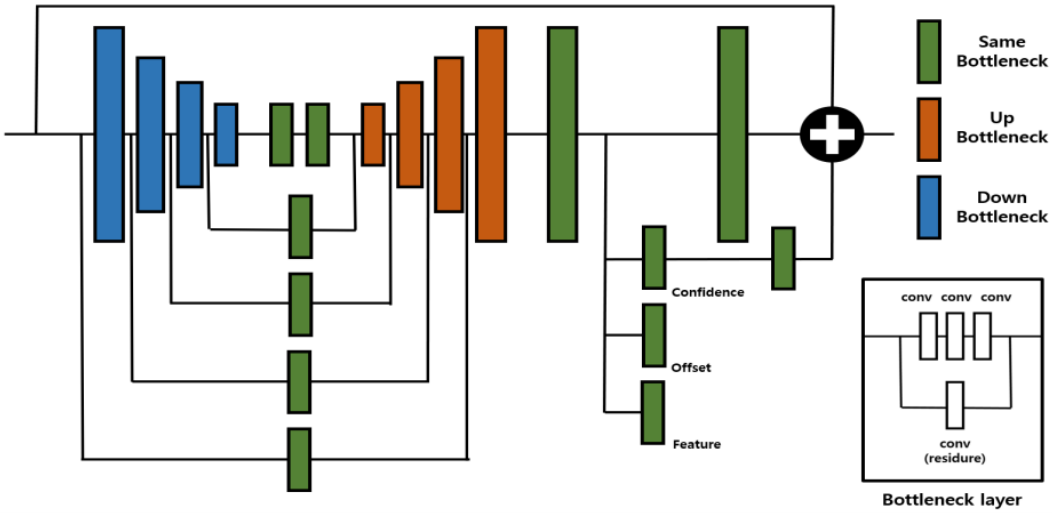


Рис. 1.18 – Блок «пісочного годинника» мережі PINet

Однак суттєвим недоліком нейронних мереж є складність імплементації та необхідність великих обчислювальних потужностей.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

В даному розділі було розглянуто актуальність проблеми детектування дорожньої розмітки, оглянуті та порівняні існуючі системи детектування розмітки, проаналізовані існуючі проблеми в даній галузі та оглянуті існуючі методи детектування розмітки. Найпростішим підходом є перетворення Хафа із серією фільтрів, однак цей підхід є не точним. Більш точним, але значно складнішим є метод детекції розмітки шляхом глибокого навчання. Оптимальним за складністю, точністю та швидкістю роботи є метод заснований на двомірній згортці опорного ядра фільтру із зображенням. Докладніше цей метод буде розглянуто в наступних розділах

РОЗДІЛ 2
ОБГРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ПРИЛАДУ

2.1. Конструкція детектору з фотоприймачем типу ПЗЗ

Детектор дорожньої розмітки здійснює автономний пошук смуги руху в полі зору, оцінює положення автомобіля відносно знайденої розмітки. Конструктивно детектор виконаний у вигляді моноблока і складається з наступних основних модулів [15]:

• фоточутливий прилад з перенесенням заряду;

оптичний блок;

• електронний блок,

а) ***Фоточутливий прилад з перенесенням заряду (ФППЗ).***

З розвитком систем допомоги водієві на основі камер і систем автономного водіння багато компаній, що виробляють приймачі випромінювання (ПВ), представляють матриці високої роздільної здатності для автомобілів. Як зазначено в Табл. 2.1, нещодавно представлені приймачі випромінювання (ПВ) з високою роздільною здатністю, призначені для автомобільних камер, мають роздільну здатність близько 8 Мп і розміри пікселів 2,1 мкм або 2,25 мкм. OnSemi AR0820AT має співвідношення сторін 16:9, тоді як у Sony IMX324 і Samsung S5K2G1 співвідношення сторін становить 2:1 [4,5,6]. Оскільки ці ПВ мають однакові розміри і роздільну здатність, конструкція з одним об'єктивом може бути сумісна з усіма трьома ПВ.

Приймач випромінювання	**Роздільна здатність**	**Розмір пікселя, мкм**	**Частота Найквіста, л/мм**	**Розмір масиву пікселів, мм**	**Діагональний розмір масиву, мм**
OnSemi AR0820AT	3848 x 2168	2,1	238	8,081 x 4,553	9,28
Sony IMX324	3849 x 1929	2,25	222	8,660 x 4,340	9,69
Samsung S5K2G1	3840 x 1920	2,1	238	8,064 x 4,032	9,02

Табл 2.1. Основні параметри доступних приймачів випромінювання з високою роздільною здатністю

Важливим варіантом використання камер високої роздільної здатності в автомобілях є виявлення, розпізнавання та супроводження об'єктів. За допомогою комп'ютерного зору можуть бути реалізовані наступні системи: попередження про вихід зі смуги руху (LDW), попередження про прямому зіткненні (FCW), допомоги при русі по шосе (HDA), автоматичного екстреного гальмування (AEB), розпізнавання знаків дорожнього руху (TSR) і розпізнавання світлофорів (TLR). Одним з традиційних прикладів TSR є автоматичне розпізнавання знака зупинки.

б) Оптичний блок.

Складається з об'єктива. Характеристики об'єктива представлені в Табл. 2.1. Об'єктив забезпечує проекцію на чутливий шар фотоприймача ділянки дороги в межах поля зору.

Таблиця 2.1.

Характеристика об'єктива

Параметри об'єктива	**Значення**
Фокусна відстань	50 мм
Діаметр вхідної зіниці	30 мм
Поле зору	40 град
Габаритні розміри	40,8x52,4 мм

Точне розпізнавання дорожніх знаків залежить від алгоритму розпізнавання, а також роздільної здатності зображення дорожніх знаків. Для розроблюваної камери алгоритм TSR, який може розпізнавати дорожні знаки по невеликих ділянках зображення, призведе до розпізнавання на великій відстані. Torresen і співавтори для розпізнавання знака обмеження швидкості використовували підхід зіставлення з шаблоном з дозволом до 32 × 32 пікселів [7]. Sermanet і співавтори використовували сверточних мережевий підхід для розпізнавання дорожніх знаків з точністю 99,17% на зображеннях з роздільною здатністю 32 × 32 [8].

Метою даної роботи є проектування оптико-електронної системи камери, яка зможе розпізнавати дорожні знаків на відстані 200 метрів. Якщо зображення дорожнього знака має займати 32 × 32 пікселя в площині зображення, фізичний розмір цього зображення має становити 72 мкм × 72 мкм для приймача Sony IMX324 або 67 мкм × 67 мкм для двох інших вищезазначених автомобільних ПІ. Щоб бути сумісними з усіма трьома приймачами, в якості параметрів еталонного зразка був обраний розмір пікселя 2,25 мкм і розмір матриці Sony. Якщо передбачається, що відстань до об'єкта становить 200 м, то для дорожнього знака з розмірами 0,75 м × 0,75 м ефективну фокусну відстань об'єктива має становити 19,2 мм, що розраховується з використанням тригонометричних співвідношень, показаних на Рис. 2.1. Це призводить до діагонального полю зору близько 26,5 ° із ПВ Samsung S5K2G1 або 28,3 ° із ПВ Sony IMX324.

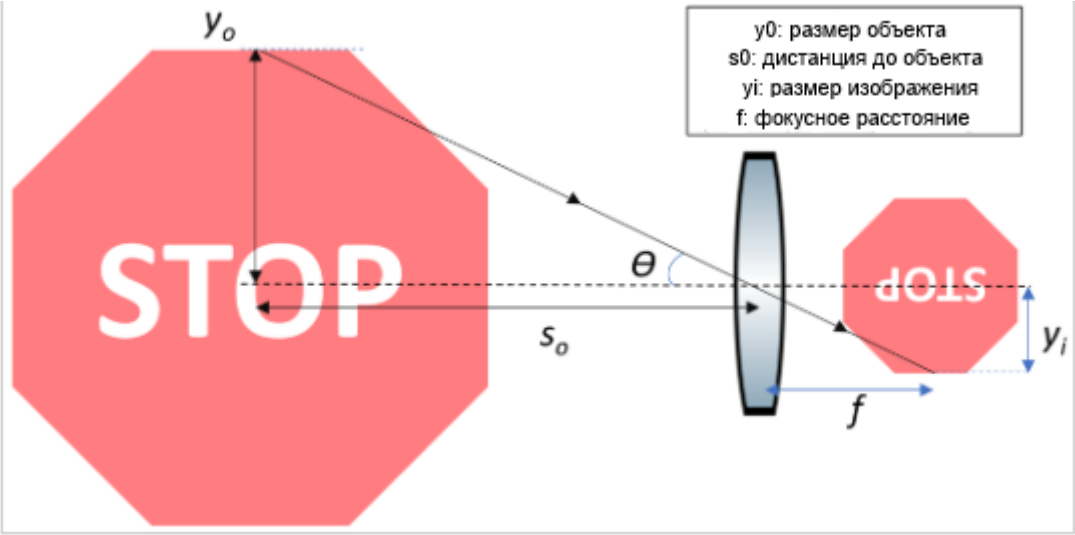


Рис.2.1 Спрощена схема для розрахунку параметрів об'єктива

При ефективній фокусній відстані 19,2 мм і розмірі пікселя 2,25 мкм гіперфокальна відстань для об'єктива f / 2 становить 82 м, а для об'єктива f / 1,6 - 102 м. При фокусуванні на гіперфокальній відстані ці об'єктиви можуть забезпечувати чітке зображення від 41 м до нескінченності (об'єктив f / 2) або від 51 м до нескінченності (об'єктив f / 1,6). Таким чином, ці об'єктиви з фіксованим фокусом забезпечують знімок на великій відстані.

Для розрахунку поля зору використовувалася наступна методологія. Поле зору відповідно позначається як поле зору по вертикалі (VFOV) і поля зору по горизонталі (HFOV), проте в технічних характеристиках приймачів наводиться тільки значення діагональне поле зору (DFOV), як показано на Рис. 2.2.

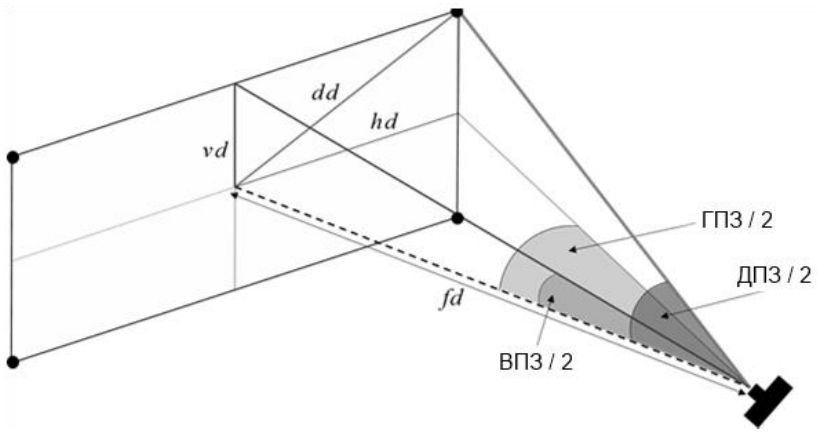


Рис. 2.2 Поле зору цифрової камери.

Щоб розрахувати HFOV і VFOV, проводиться моделювання, яке полягає в вимірі поля зору за допомогою мірної дошки (Табл. 2.2). Також було виміряно відстань від камери до дошки. Вирази (2), (3) і (4) розраховують значення кутів DFOV, HFOV і VFOV відповідно:

$$arctg\left(\frac{DFOV}{2}\right) = \frac{dd}{fd}, \qquad (2)$$

$$arctg\left(\frac{HFOV}{2}\right) = \frac{hd}{fd}, \qquad (3)$$

$$arctg\left(\frac{VFOV}{2}\right) = \frac{vd}{fd}, \qquad (4)$$

де dd - діагональна відстань; fd - фокусна відстань; vd - вертикальна відстань; hd - горизонтальна відстань.

	Тест 1	Тест 2	Тест 3
DFOV	28,3˚	28,2 ˚	28,3 ˚
HFOV	25,1 ˚	25,0 ˚	25,1 ˚
VFOV	21,6 ˚	21,6	21,5˚

Табл. 2.2 Поля зору оптичної системи

Розрахунок атермальних матеріалів

Коли температура змінюється, деякі параметри, які визначають оптичні властивості об'єктива, також змінюються. Найбільш значущими є зміна показника заломлення матеріалів лінз, розширення або стиснення фізичних розмірів елементів об'єктива і зміна відстаней між лінзовими елементами. Ці ефекти обумовлені залежністю показника заломлення від температури (відомої як $\partial n / \partial T$) і температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів лінз. Тепловий вплив на лінзи більш помітно в інфрачервоній області, так як $\partial n / \partial T$ інфрачервоних матеріалів зазвичай на порядки більше, ніж у скла, які працюють у видимому діапазоні [9].

Щоб задовольнити вимоги до роздільної здатності та атермічних умов експлуатації для автомобільної камери дальнього радіусу дії, за основу був узятий 5-ти лінзовий об'єктив [6] і оптимізований під вимоги дослідження з кращими стеклами Шотта [10]. Камера повинна працювати у видимому спектрі, тому для об'єктива була обрана довжина хвилі Fraunhofer FdC. Алюміній був прийнятий в якості матеріалу оправи лінзи і має ТКЛР близько 24 мкм / ° С. Основні параметри конструкції об'єктива наведені в Табл. 2 і на Рис 3.

Параметр	**Специфікація**
Кількість лінз	5
Розмір зображення	9,7 мм
Поле зору	±14,2˚ (діагональне)
Рабочий діапазон	Видимий спектр
Дісторсія	< 1%
Оправа объективу	Алюміній (ТКЛР = 24 мкм/˚С)
Температурний діапазон	-40˚… +100 ˚С

Табл 2.3 Характеристики объектива

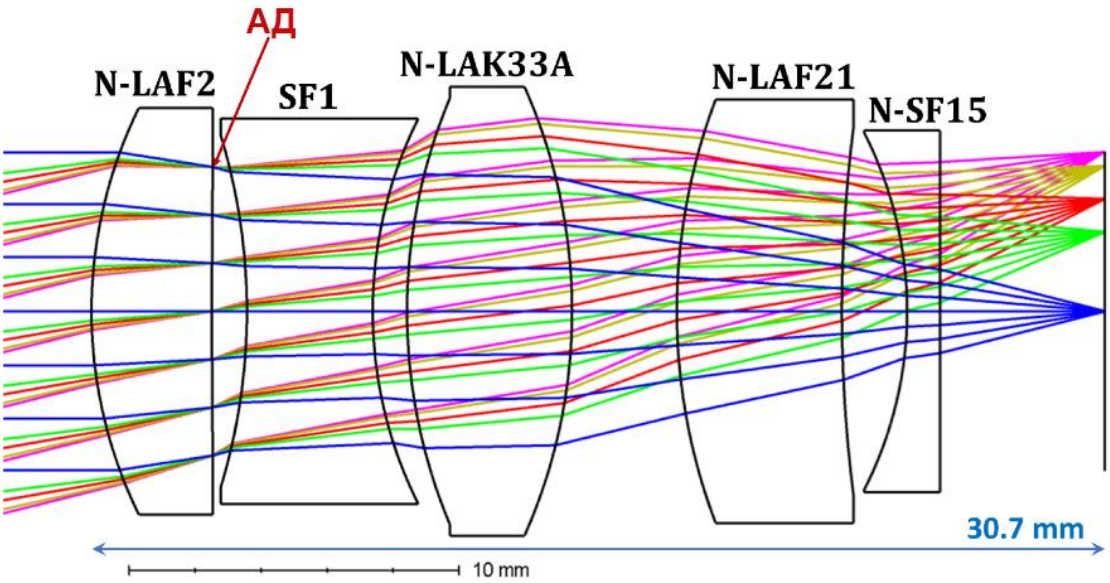


Рис. 2.3 Схематичне зображення конструкції багатоелементного об'єктива.

Апертурна діафрагма розташована на задній поверхні першої лінзи. Відстань від першої вершини поверхні до площини зображення становить 30,7 мм, а дисторсія становить менше 1%.

Оптичні характеристики оцінюються на осі і при полях в 0,5, 0,7, 0,9 площині зображення. Графік модуляційної передавальної функції (МПФ) для об'єктива при номінальній температурі (20 ° C) показаний на Рис. 2.4. На осі МПФ становить 0,68 при 111 л / мм (частота Найквіста для датчика Sony IMX324) і 0,44 при 222 л / мм (частота Найквіста для датчика Sony IMX324). При куті поля зору (0,9 поля) мінімальна МПФ становить 0,54 при 111 л / мм і 0,29 при 222 л / мм.

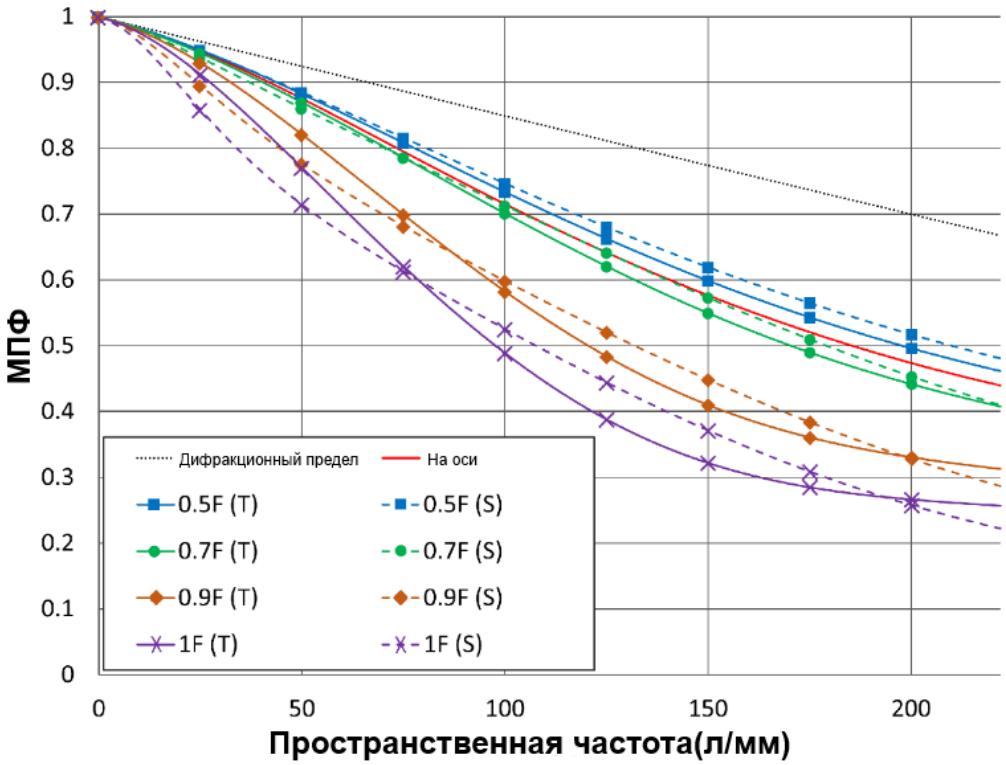


Рис. 2.4. Графік МПФ для проектованого об'єктива (Рис. 2.3) при номінальній температурі 20 ° C. Тангенціальні (T) компоненти показані суцільними лініями, сагітальні (S) компоненти показані пунктирними лініями.

Щоб продемонструвати атермічні характеристики, мінімальна МПФ при 111 л / мм нанесена в різних місцях поля для діапазону температур від -40 ° C до 100 ° C, як показано на Рис. 2.5. Зміна температури слабо впливає на МПФ при кутах поля до 0,7 поля зору, однак на краю поля зору (0,9 поля) МПФ починає погіршуватися при низьких температурах. Проте, МПФ більше 0,65 до 0,7-поля і більше 0,5 до 0,9-поля у всьому температурному діапазоні. Це означає, що за допомогою розробленого об'єктива можуть бути сформовані чіткі зображення з високою роздільною здатністю з мінімальним впливом температури.

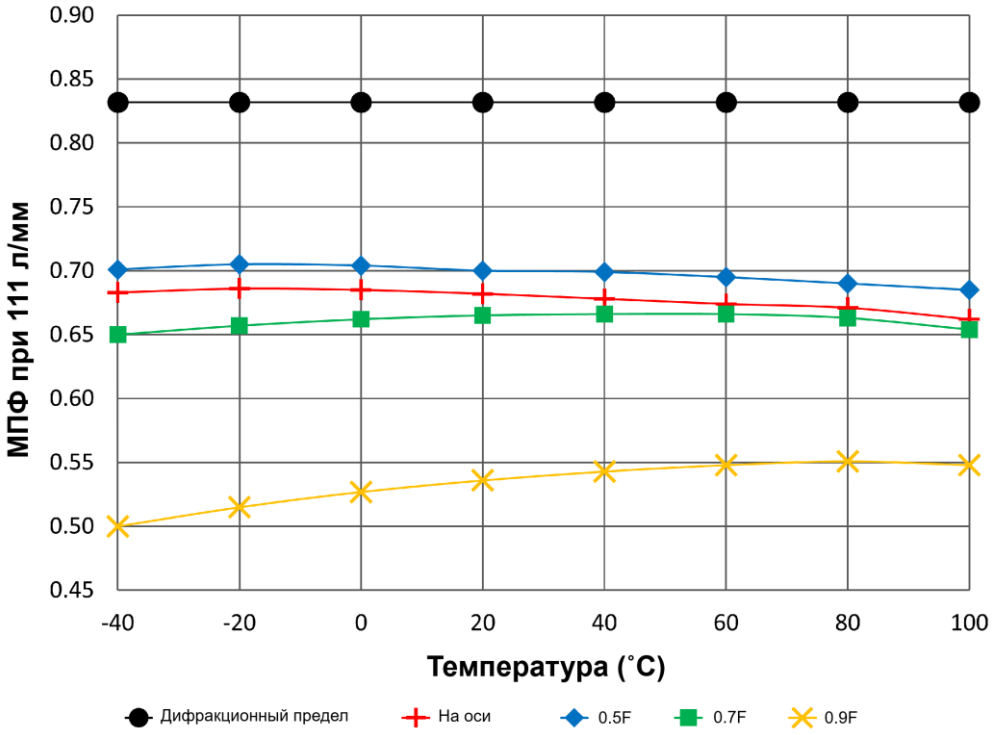


Рис. 2.5. Мінімальна МПФ при 111л / мм для проектованого об'єктива (Рис. 2.3) при різних температурах.

в) ***Електронний блок.***

Включає в себе:

• пристрій керування ФППЗ;

• систему управління.

В свою чергу система управління містить:

• аналогово — цифровий перетворювач;

• блок обробки сигналу;

• процесор;

• джерело живлення;

• електричні з'єднувачі

Розглянемо принцип роботи детектора розмітки.

Зображення ділянки дороги формується об'єктивом в площині світлочутливих елементів матриці ФППЗ, встановленої поблизу фокальної площини об'єктива так, щоб відбитий світловий потік від розмітки зайняв декілька елементів матриці ФППЗ. Іноді, щоб цього досягти площину світлочутливих елементів зміщують відносно площини об'єктива, власне, щоб відбулося дефокусування. Що до моєї оптичної системи, то вона першопочатково була розрахована на певний розмір світлового потоку що падає на матрицю ПЗЗ. Фотон світла, потрапляючи на кремнієву підкладку матриці ФППЗ, генерує пару електрон-дірка [23].

Система електродів матриці забезпечує створення в кристалі кремнію потенційних ям, в яких накопичуються електрони, утворюючи зарядові пакети. У процесі зчитування зарядові пакети переносяться системою електродів матриці до зчитувального пристрою матриці. Далі напруга оцифровується і преводиться в код. Оцифровані значення напруг пікселів надходять на подальшу обробку в процесор. В процесі обробки здійснюється «склейка» зображень з окремих пікселів. Далі по цьому зображенню відбувається розпізнавання розмітки та аналіз положення транспортного засобу та, якщо необхідно, відбувається попередження про виїзд зі смуги руху.

Функціональна схема складається з оптичної системи (об’єктиву), блоку обробки інформації (ПЗЗ, аналоговий блок та цифровий блок), далі по інтерфейсу CSI інформація передається до обчислювального тракту (процесор), далі сигнал обробляється в блоку обробки інформації і, якщо треба, видається попередження.

2.2 Параметри розробленого об’єктиву

Об'єктив повинен бути світлосильним для забезпечення необхідного потоку випромінювання на світлочутливий елемент. В об'єктивах автомобільних приладів повинні бути мінімізовані геометричні спотворення в фокальній площині, насамперед дисторсія і аберації в широкому спектральному діапазоні [24].

Нижче наведено схеми деяких аберацій розробленої системи:

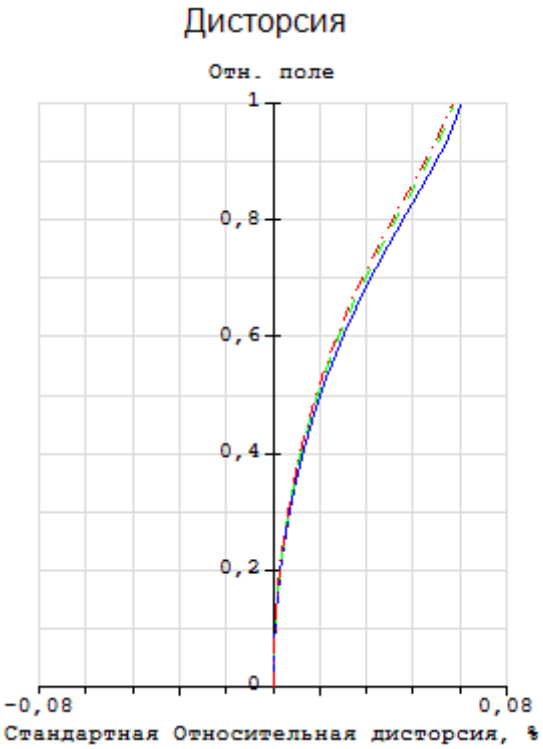


Рис. 2.6. Аберація дисторсії

Дисторсія є зміна лінійного збільшення по полю зору, що призводить до порушення геометричної подоби між об'єктом і його зображенням. Для донної системи дисторсія є одною за найкритичніших аберацій, оскільки вона призводить до викривлення геометричного подобу між об’єктом та зображенням, а це в свою чергу, може призвести до помилкового розпізнавання дорожньої розмітки. З рисунку видно що відхилення дисторсії меньше 1% [25].

Також, з Рис. 2.7. можна побачити що викривлення мінімальне.

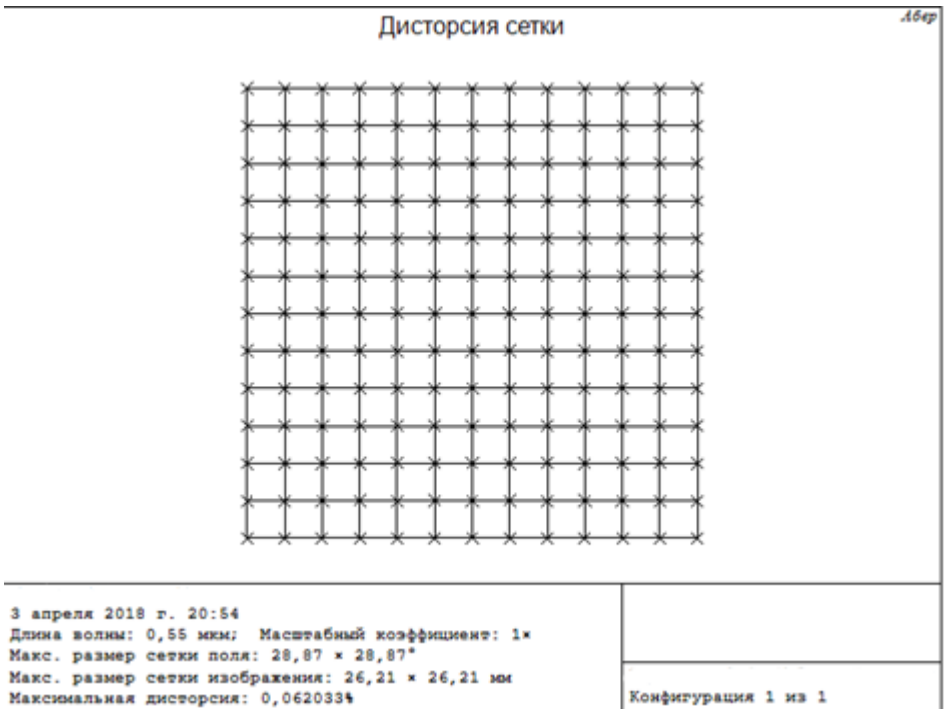


Рис. 2.7. Дисторсія сітки

Як видно, подушкоподібного чи бочкоподібного викривлення не спостерігається.

Як було зазначено вище, для того щоб детектор розмітки правильно розпізнавав смуги руху, треба щоб світловий потік від дороги зайняв декілька елементів матриці. Проконтролювати цю умову допоможе точкова діаграма (Рис. 2.8).

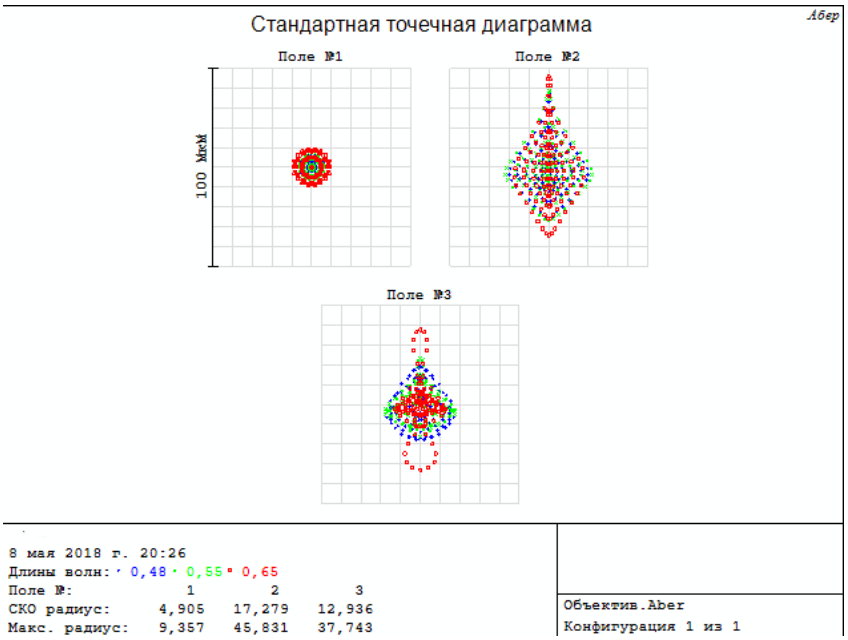


Рис. 2.8. Стандартна точкова діаграма

З цієї діаграми можна помітити що максимальний радіус заповнюючого кола 9,4 мкм. Намагаючись зменшити максимальну кількість аберацій вдалось отримати такий пучок світла, який падає на ПЗЗ приймач, що забезпечує розпізнавання по декількох пікселям [25].

Також наведемо деякі параксіальні параметри розробленого об’єктиву

ОТЧЕТ ПО ПАРАКСИАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ

"Абер" Версия 1.05 [114]

Название: Cooke 40 Degree Field
Файл:
Дата: 3 апреля 2018 г.
Время: 17:58

Конфигурация: 1 из 1

Кардинальные параметры:

Длина волны, [мкм]	F, [мм]	F', [мм]	Sf, [мм]	S'f', [мм]	Sh, [мм]	S'h', [мм]
0,48000	-49,98806	49,98806	-37,30193	42,40456	12,68613	-7,58350
0,55000	-50,00000	50,00000	-37,34590	42,41508	12,65411	-7,58492
0,65000	-50,06610	50,06610	-37,43969	42,48177	12,62641	-7,58434

Обобщенные параметры предмета и изображения:

Длина волны, [мкм]	Y, [град.]	Y', [мм]	S, [мм]	S', [мм]	Увеличение -
0,48000	0,36397	-18,19417	0,00000	42,40456	-49,98806
0,55000	0,36397	-18,19851	0,00000	42,41508	-50,00000
0,65000	0,36397	-18,22257	0,00000	42,48177	-50,06610

Линейные параметры предмета и изображения:

Длина волны, [мкм]	Y, [град.]	Y', [мм]	S, [мм]	S', [мм]	Увеличение -
0,48000	20.00'00"	-18,19417	Бесконечн.	42,40456	0,00000
0,55000	20.00'00"	-18,19851	Бесконечн.	42,41508	0,00000
0,65000	20.00'00"	-18,22257	Бесконечн.	42,48177	0,00000

Рис. 2.9. Параксіальні параметри об’єктиву

Конфигурация: 1 из 1
Длина волны: 0,55 мкм

Углы и высоты вспомогательных нулевых лучей:

(Инвариант Лагранжа-Гельмгольца J=-50)

Пов.	Альфа	h	Бета	H
1	0,00000	1,00000	1,00000	0,23024
2	0,87153	0,94319	0,81695	0,17699
3	1,48152	0,76519	1,33824	0,01620
4	0,25089	0,76017	0,81021	0,00000
5	-0,76080	0,83245	1,31549	-0,12498
6	-0,26844	0,84830	0,78064	-0,17107
7	1,00000		0,97716	

Параметры P, W, C, Pi и B:

Пов.	P	W	C	Pi	B
1	2,77092	-1,21996	-0,01486	0,87153	0,00000
2	2,38681	1,50138	-0,01040	0,04153	0,00000
3	-13,62157	-4,25157	0,03488	-0,66157	0,00000
4	-6,34989	2,41085	0,02868	-0,71946	0,00000
5	0,98023	-0,76393	-0,00840	0,20043	0,00000
6	12,73593	3,85266	-0,02163	0,88474	0,00000
Сум.	-1,09756	1,52942	0,00826	0,61718	0,00000

Суммы Зейделя:

Пов.	SI	SII	SIII	SIV	SV
1	2,77092	-60,36002	-27,94185	0,87153	-77031,05725
2	2,25123	75,49126	914,63273	0,04403	87669,71323
3	-10,42306	-212,79923	-1868,23114	-0,86459	-1,3267E+05
4	-4,82700	120,54237	316,93254	-0,94645	134261,63870
5	0,81600	-38,31905	888,18725	0,24077	-1,1236E+05
6	10,80391	190,45402	-380,81501	1,04295	107409,65764
Сум.	1,39200	75,00935	-157,23549	0,38824	7281,76095

Рис. 2.10. Звіт по нульових променях

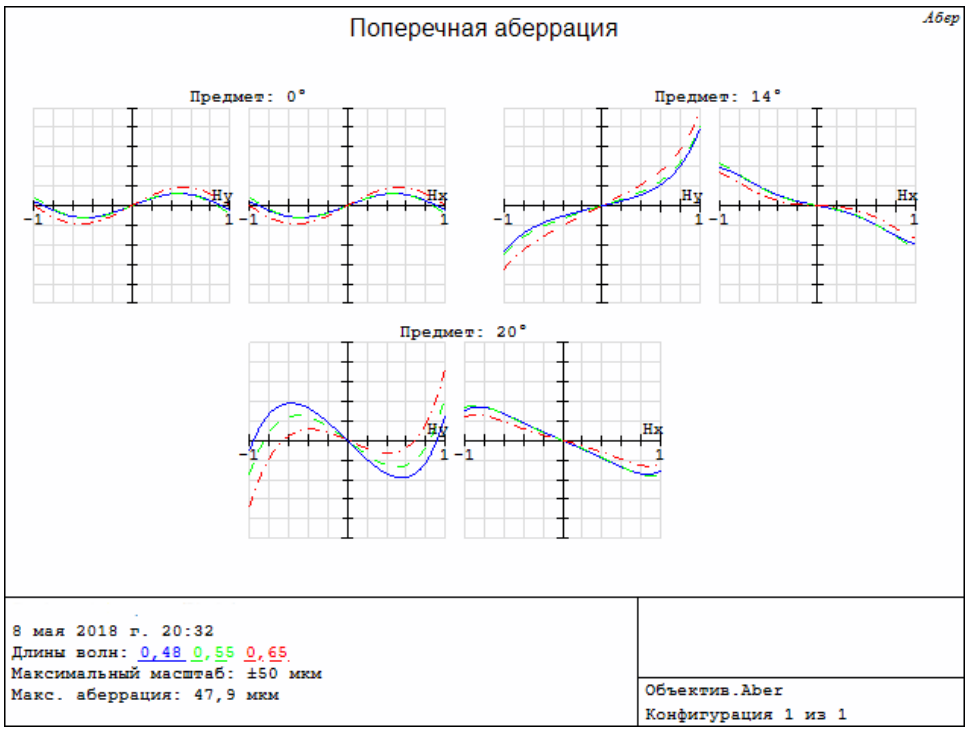


Рис. 2.11. Поперечна аберація

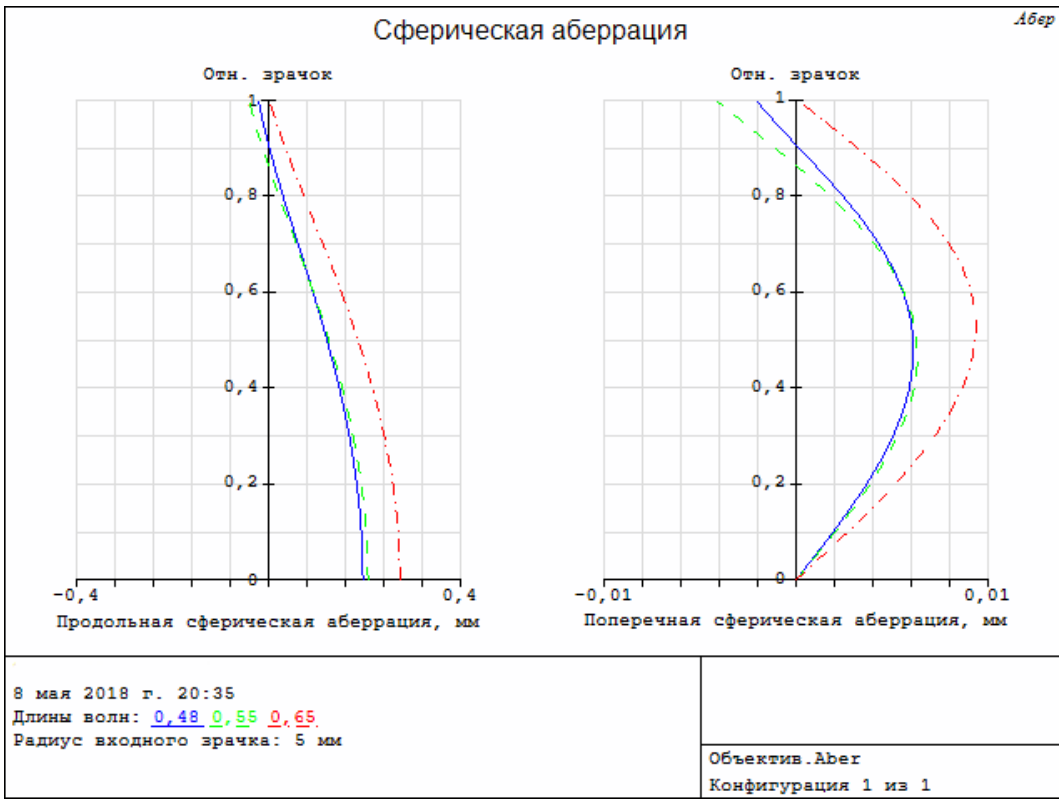


Рис. 2.12. Сферична аберація

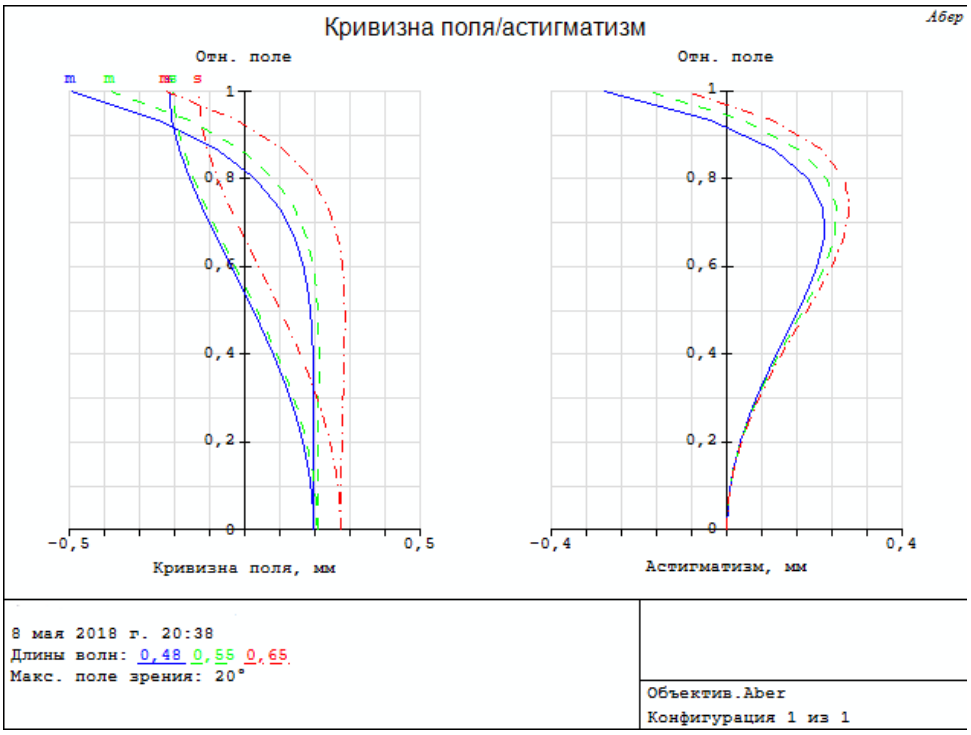


Рис. 2.13. Кривизна поля / астегматизм

Рис. 2.14. Поверхня деформації хвильового фронту

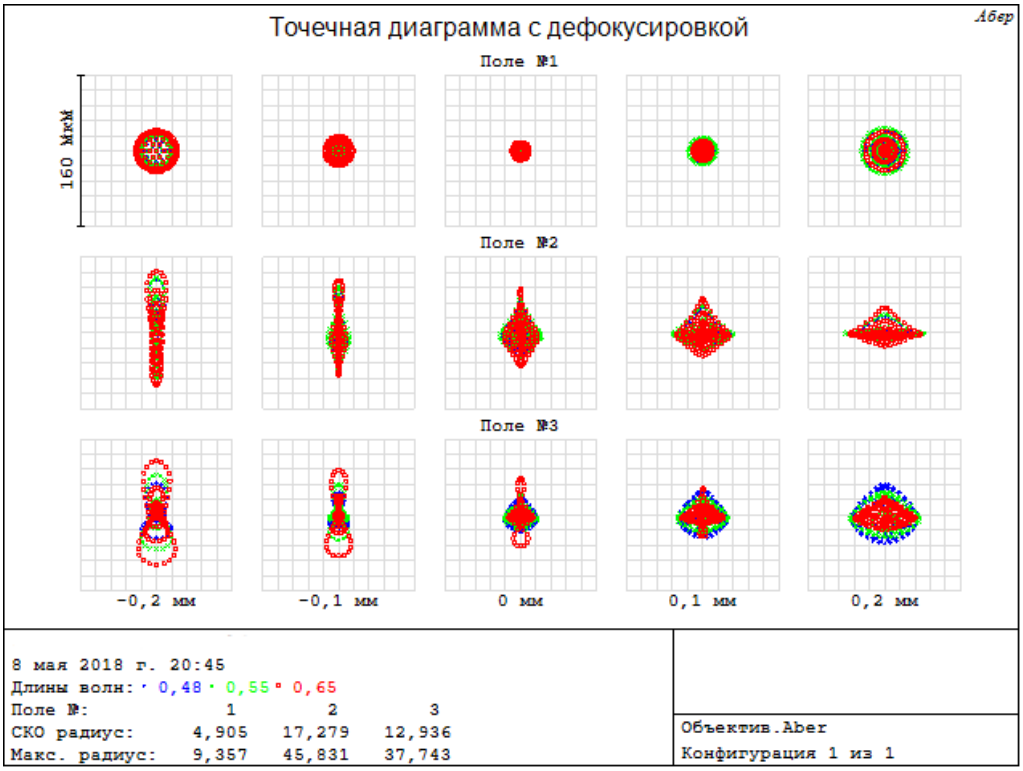


Рис 2.15. Точкова діаграма з дефокусуванням

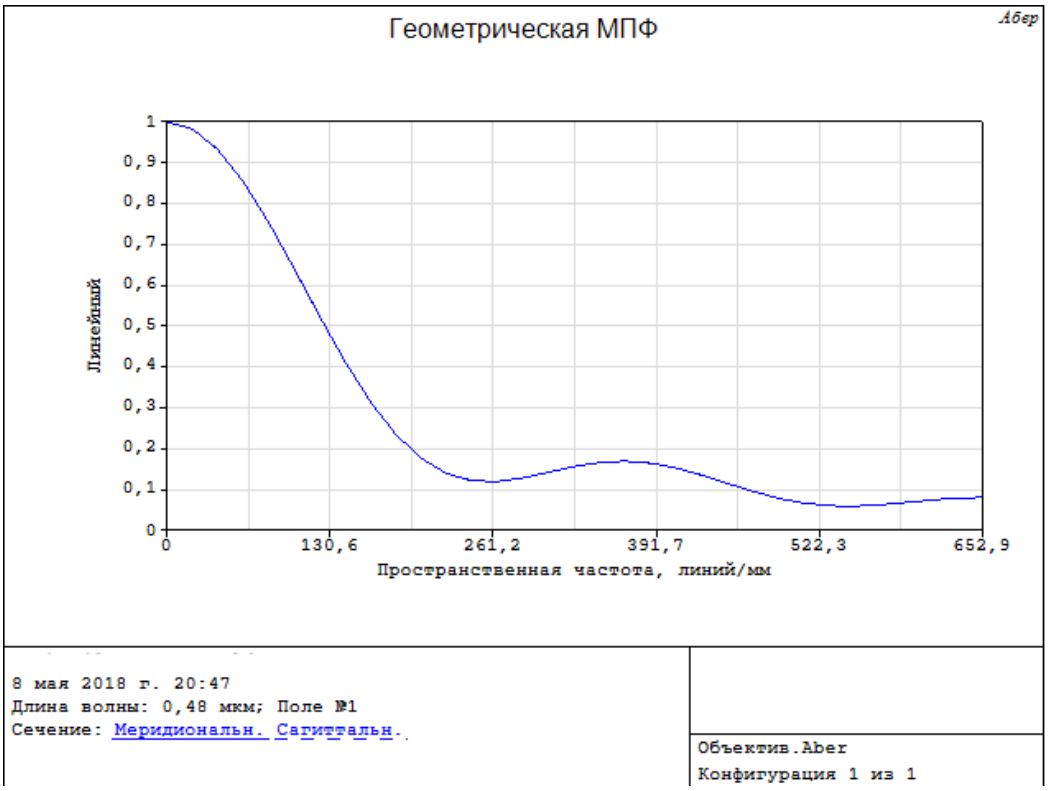


Рис. 2.16. Геометрична МПФ

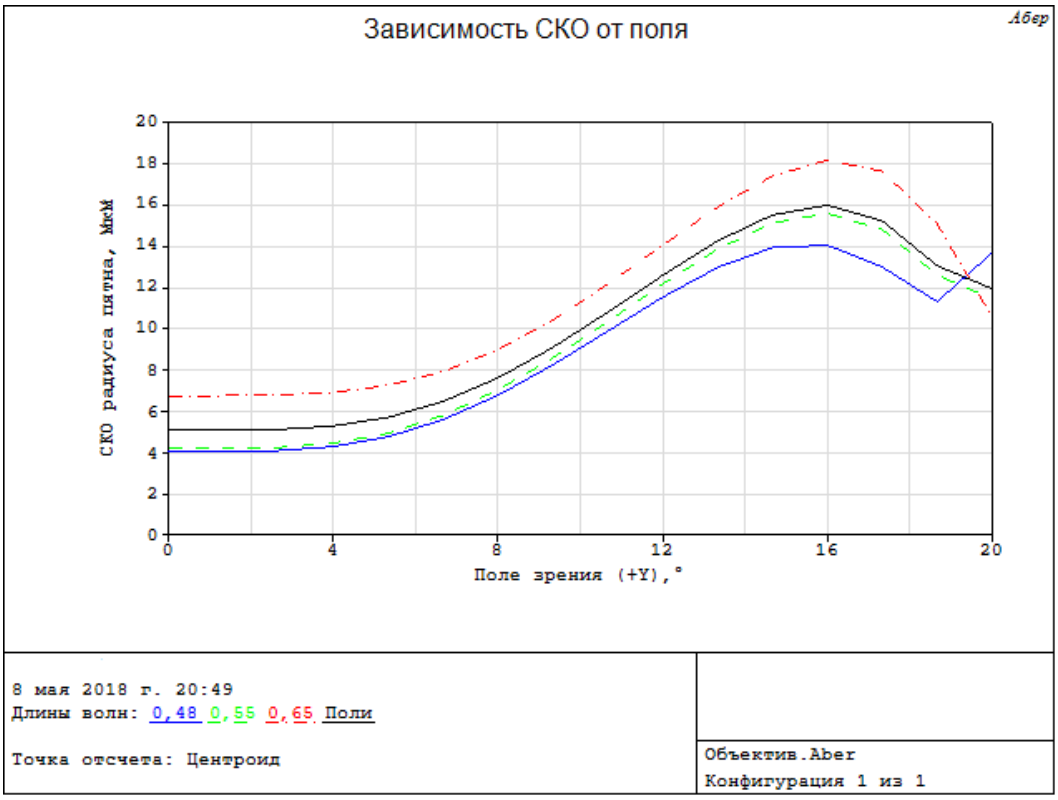


Рис. 2.17. Залежність СКВ від поля

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В даному розділі було описано принцип роботи приладу та обґрунтовано його функціональну схему. Принцип дії приладу є доволі простим та не потребує складних операцій складання та розробляння.

Системи допомоги водієві, засновані на комп'ютерному зорі, і системи автономного водіння мають неоціненне значення для широкого спектра застосувань, включаючи розпізнавання дорожніх умов і раннє попередження ДТП. Автомобільні камери зазвичай мають фіксований фокус, а камери, спрямовані вперед, зазвичай потребують відносно великих фокусних відстанях для надання інформації про віддалених об'єктах. Оптична система для цих камер повинна забезпечувати високу роздільну здатність, а також працювати в широкому діапазоні температур навколишнього середовища. Відповідно, розробка пасивно атермірованних об'єктивів має вирішальне значення.

У цьому розділі розроблена і оптимізована атермірованная конструкції об'єктива видимого спектру для автомобільних камер дальнього радіусу дії. Параметри конструкції камери отримані з функціональних вимог розпізнавання дорожніх знаків на відстані 200 м. Конструкція об'єктива має п'ять лінз зі сферичними поверхнями. Об'єктив має відносний отвір f / 2 і має МПФ більше 0,5 при 111 л / мм у всьому температурному діапазоні.

Конструкція даного об'єктива відповідає вимогам як систем ADAS, так і повністю автономних автомобілів. Даний об'єктив може бути інтегрований з матрицями на 8 Мп, щоб сформувати автомобільну камеру з високою роздільною здатністю працює на великій відстані, яка може бути проведена серійно і широко використовуватися в сучасних транспортних засобах.

На основі проведених досліджень можна рекомендувати для автомобільних телевізійних систем камери із атермальним склом Шота, кутом поля зору не менше 60° С, фокусною відстанню не менше 19 мм, дисторсія обов’язково повинна бути <1%, температурний діапазон -40°… +100 °С.

РОЗДІЛ 3
АДАПТУВАННЯ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ З МЕТОЮ ЗНАХОДЖЕННЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ

У цьому розділі розглянуто основні методи детектування дорожньої розмітки. По-перше, відзняті камерою зображення проходять попередню обробку, щоб виділити маркери смуги зображення. Далі, в блоці Inverse Perspective Mapping (IPM), попередньо оброблене зображення зазнає геометричного перетворення, що видаляє ефект перспективи [20]. Потім у блоці виявлення об'єкта перетворене зображення перетворюється у бінарне за допомогою адаптивного порогу, який допомагає виявляти маркери смуги руху. Блоки попереднього та детального вилучення функцій виконують серію процедур узгодження шаблону для знаходження маркерів смуги зображення.

3.1 **Попередня обробка зображення**

Мета цього блоку - виділити маркери смуги на зображенні, що робить їх більш помітними та легшими для виявлення [24]. Як показано на Рис. 3.1, блок попередньої обробки далі розділений на два етапи:

1. Тимчасове розмивання

2. Перетворення зображення на відтінки сірого

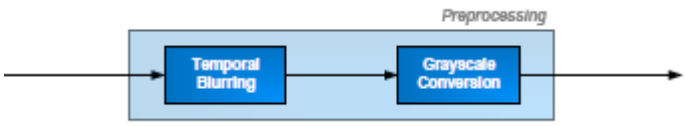


Рис. 3.1 – Кроки попередньої обробки

Суцільна та штрихова розмітка - це два типи розмітки, які з’являються на дорожньому покритті. Взагалі суцільна розмітка відображається як довгі криві на зображенні; з іншого боку, пунктирна розмітка зображується або як короткі сегменти, або невеликі точки на зображенні, як показано на Рис. 3.2. В результаті суцільну розмітку легше виявити, коли штрихову,

Рис. 3.2 – Суцільна та штрихова розмітка

як правило, важко виявити. Тому для допомоги у виявленні штрихової розмітки вводиться тимчасове розмивання. Тимчасове розмиття створює середнє зображення $I_K(n)$, в якому штрихові маркери відображаються як суцільна смуга [25]. Розглянемо відеоряд, що містить N зображень, де кожне зображення індексується $n \in [1;N]$. Середнє зображення створюється шляхом обчислення середнього значення між поточним зображенням I(n) та K зображеннями минулого. Воно формується наступним чином:

$$\bar{I}_K(n) = \sum_{i=0}^{K} \frac{I(n - i \cdot \Delta)}{K} \tag{1}$$

де i та Δ використовуються для середнього зображення. Тут ми використовували K = 3 і Δ = 3 для створення середнього зображення. Для визначення значень K та Δ виконаємо кількісне міркування. Розглянемо транспортний засіб, який рухається з постійною швидкістю 65 км/год або 3,16 м/33 мс, де 33 мс - тривалість часу між кожним зображенням протягом 30 кадрів в секунду (кадрів в секунду) відеоряду. На основі специфікацій FHA, штрихова розмітка довжиною 3 метрів має розрив 9 метрів між кожною

смугою [26]. Отже, за проміжок між 3-ма кадрами (99 мс) транспортний засіб проїде 3 метри або смуги руху пересунуться на 3 метри ближче до транспортного засобу від початкового положення. Аналогічно, за час між 6 та 9 кадрами смуги руху перемістяться відповідно на 6 метрів та 9 метрів. В результаті смуги на трьох попередніх зображеннях (I (n-3), I (n-6), I (n-9)) потраплять у зазор між смугами зображення I(n). Отже, середнє значення всіх чотирьох зображень, показаних на Рис. 3.3, створює I_K середнього зображення (n), в якому штрихові маркери представляють собою єдиний, з'єднаний суцільний маркер, як показано на Рис. 3.4. При швидкостях вище і нижче 65 км/год , в I_K (n) можуть з’явитися прогалини; однак ці прогалини будуть значно меншими, ніж проміжки між пунктирними маркерами в одному зображенні. На рис. 3.4 ми бачимо, що маркери пунктирної смуги праворуч мають вигляд суцільної смуги. Крім того, суцільний маркер лівої смуги ліворуч, схоже, не впливає на усереднення.

(a) $I(n)$. (b) $I(n-3)$.

(c) $I(n-6)$. (d) $I(n-9)$.

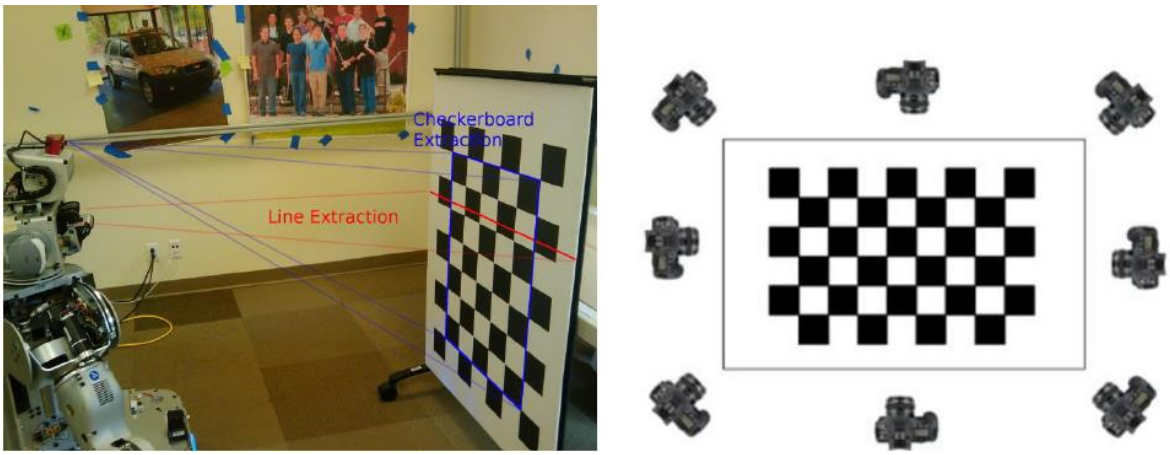
Рис. 3.3 - Чотири зображення, які використовуються для створення середнього зображення

Рис. 3.4 - Середнє зображення $I_K(n)$, що створюється за допомогою K=3 і Δ=3.

3.2 **Калібрування камери**

Калібрування визначається як процес оцінки справжніх внутрішніх (intrinsic) та зовнішніх (extrinsic) параметрів камери. Внутрішні (intrinsic) параметри камери - це поле зору, формат зображення та розмір пікселя. Зовнішні (extrinsic) параметри асоціюються з положенням та орієнтацією камери щодо початку відліку та її осей. Більш конкретно, ці параметри включають зміщення камери від початку, кут рискання, нахилу та кочення. Однак внутрішні параметри вже відомі, оскільки вони використовуються для створення світового зображення. Аналогічно, висота від землі, рискання та крок камери також відомі. Отже, єдиний невідомий параметр - це зміщення камери стосовно початку координат. Тому в цій главі калібрування переглядається як процес оцінки фізичного положення камери по відношенню до походження світової системи координат [27].

У літературі [28] загальним підходом до калібрування є використання шаблону контрольної дошки, положення якого відоме, і розглядання його як еталон. Потім положення камери оцінюється шляхом визначення перетворення, що призводить до деформованого вигляду шахматної дошки на зображенні. Якщо у нас є мережа камер цей процес повторюється для кожної камери. В результаті можна оцінити положення кожної камери. Приклад процесу калібрування для однієї камери та мережі камер показаний на рис. 3.5. Однак основне припущення для правильної роботи цих методів полягає в тому, що камери повинні мати поле зору, що перекривається. По суті, однакові шашки повинні бачити всі камери.



а) Процедура калібрування камери б) Процедура калібрування мережі камер

Рис. 3.5 Процедура калібрування камер

Зрештою, нам потрібно використовувати зображення, щоб розташувати автомобіль і керувати в правильному напрямку, тому важливо переконатися, що зображення точно сприймають оточення.

Камери використовують вигнуті лінзи для формування зображення, а світлові промені часто викривляються занадто сильно або занадто мало на краях цих лінз. Це створює ефект, який спотворює краї зображень, так що лінії або об'єкти виглядають більш вигнутими, ніж є насправді. Існують радіальні (найважливіші) та тангенціальні викривлення. Це може змінити видимий розмір і форму предмета, може призвести до зміни зовнішнього вигляду

об'єкта залежно від того, де він знаходиться в полі зору, і може зробити об’єкти ближче чи далі, ніж вони є насправді. Тобто в звичайних камерах має місце дисторсія [28].

Зображення можна скоректувати за відомою формулою, зіставляючи спотворені точки на неспотворені точки. Для цього робляться знімки відомих фігур в декількох кутах і відстанях, щоб ми могли виявити помилки зображення. Шахова дошка є хорошим вибором, оскільки є регулярною структурою, має високу контрастність та малюнок, що полегшує автоматичне виявлення.

Для цього використовуються функції OpenCV (Open Computer Vision) *findChessboardCorners*() та *drawChessboardCorners*() для автоматичного пошуку та відображення шаблону шахової дошки. Далі ми використовуємо функції OpenCV *cv2.calibrateCamera*() та *cv2.undistort*() для обчислення калібрування та викривлення [29].

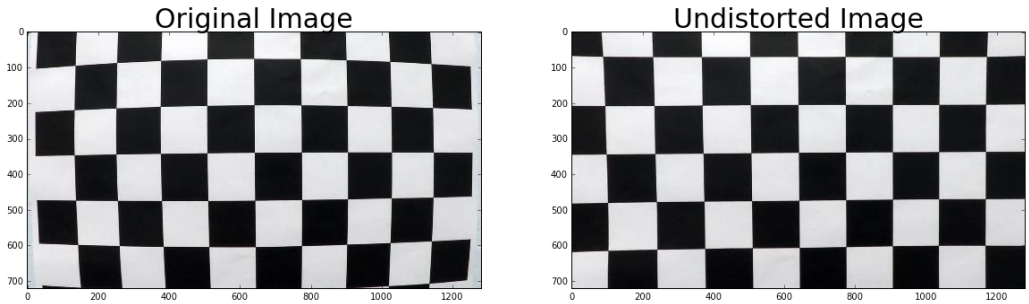


Рис. 3.6 – Приклад калібрування камери

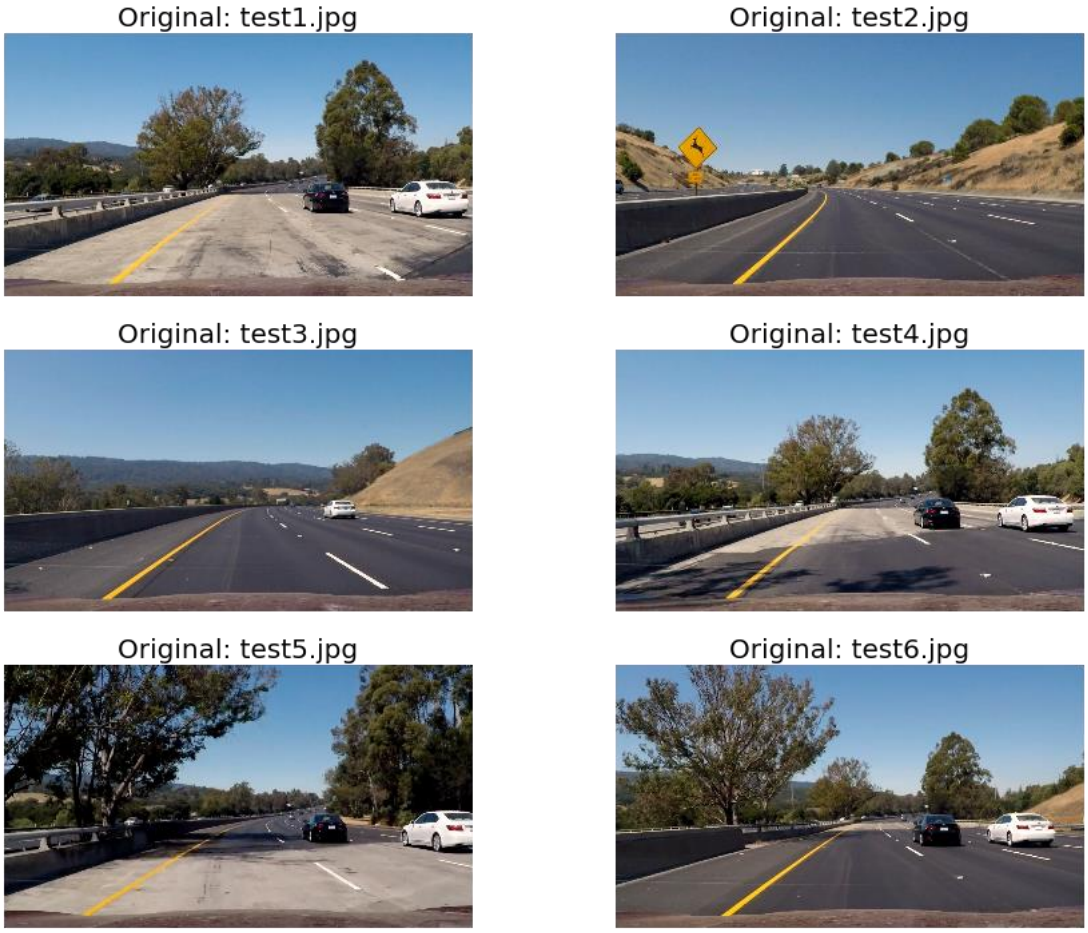


Рис. 3.7 – Приклад вихідних зображень

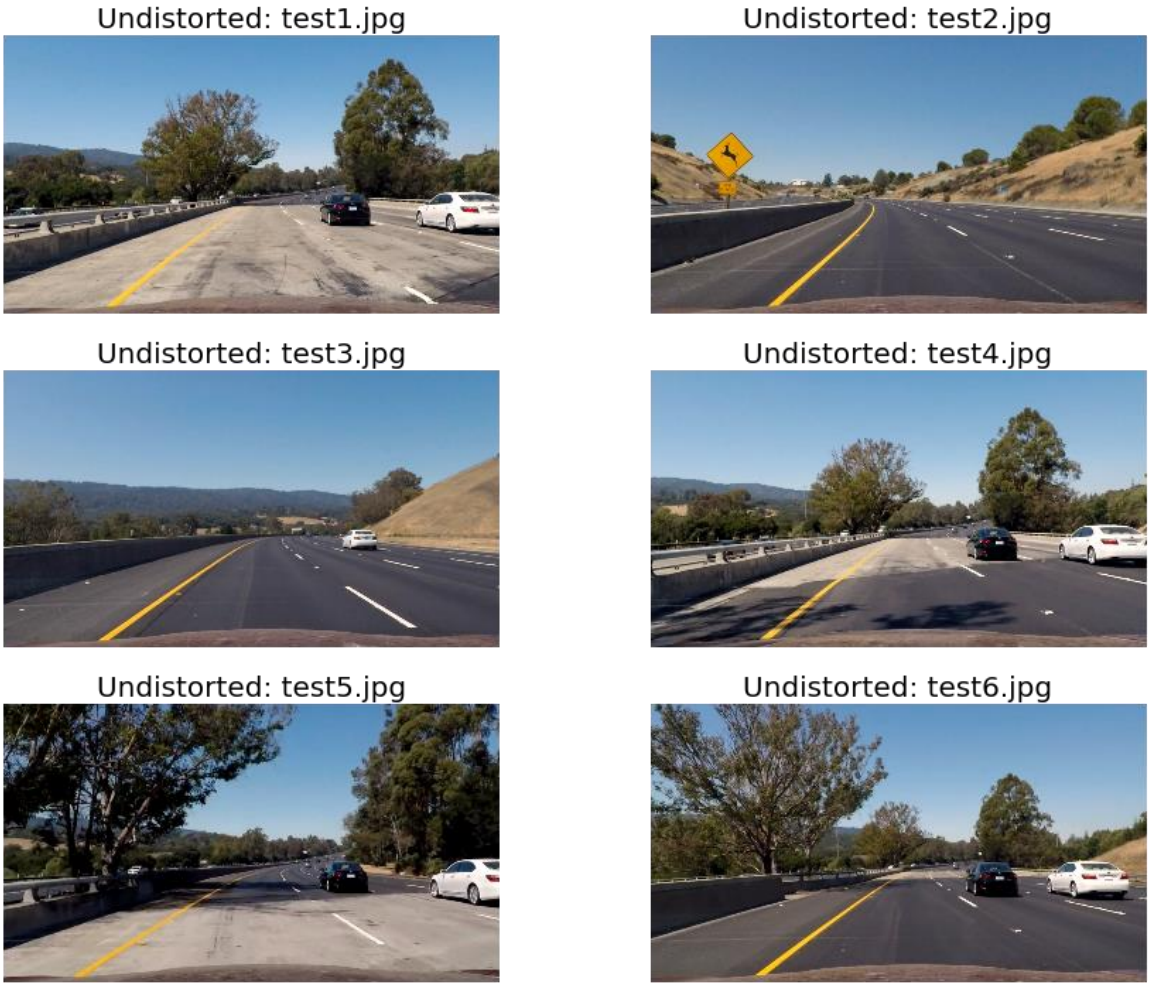


Рис. 3.8 – Приклад скоректованих зображень

Процедура калібрування

Деякі камери вносять значні спотворення зображення. Два основних викривлення - радіальне та тангенціальне викривлення.

Радіальне викривлення спричиняє викривлення прямих ліній. Радіальне викривлення стає більшим, чим далі точки від центру зображення. Наприклад, нижче зображено одне зображення (Рис. 3.9), на якому червоними лініями позначені два краї шахової дошки. Але межа шахової дошки не є прямою та не відповідає червоній лінії. Всі очікувані прямі лінії вигинаються [30].

Рис. 3.9 – Приклад геометричних викривлень, які вносить камера

Радіальне викривлення можна представити наступним чином:

$$x_{distorted} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$
$$y_{distorted} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (2)$$

Аналогічно тангенціальне спотворення відбувається через те, що лінза, що знімає зображення, не вирівняна ідеально паралельно площині зображення. Отже, деякі ділянки на зображенні можуть виглядати ближче, ніж очікувалося. Величина тангенціального спотворення може бути представлена як:

$$x_{distorted} = x + [2p_1 xy + p_2(r^2 + 2x^2)]$$
$$y_{distorted} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2 xy] \quad (3)$$

Тобто, нам потрібно знайти п’ять параметрів, відомих як коефіцієнти спотворень, задані:

$$Distortion\ coefficients = (k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2 \quad k_3)$$

На додаток до цього нам потрібна інформація, як, наприклад, внутрішні та зовнішні параметри камери. Внутрішні параметри специфічні для камери. Вони включають інформацію, як фокусна відстань (f_x, f_y) та оптичні центри (c_x, c_y). Фокусна відстань та оптичні центри можуть використовуватися для створення матриці камери, яка може бути використана для усунення спотворень за рахунок об'єктивів конкретної камери. Матриця камери є унікальною для конкретної камери, тому, обчисливши її, можна повторно використовувати на інших зображеннях, зроблених тією ж камерою. Вона виражається у вигляді матриці 3x3 [30]:

$$camera\ matrix = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

Зовнішні параметри відповідають векторам обертання та перекладу, який переводить координати 3D-точки в систему координат.

Для стерео-застосувань ці спотворення потрібно спочатку виправити. Щоб знайти ці параметри, ми повинні надати кілька опорних зображень чітко визначеного шаблону (наприклад, шахова дошка). Ми знаходимо деякі конкретні точки, про які ми вже знаємо відносні положення (наприклад, квадратні кути в шаховій дошці). Ми знаємо координати цих точок у просторі реального світу та знаємо координати на зображенні, тому можемо вирішити коефіцієнти спотворень. Для кращих результатів нам потрібно щонайменше 10 тестових моделей.

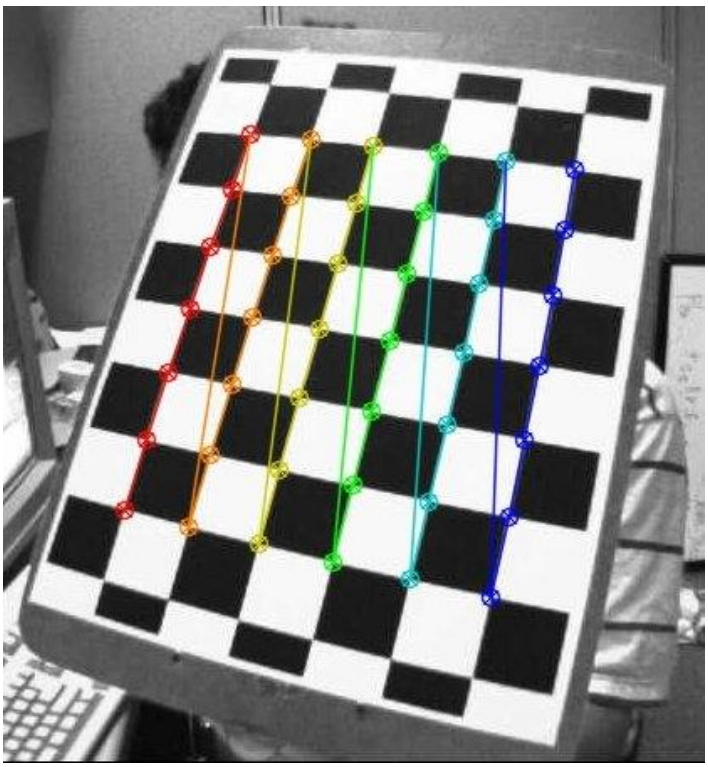


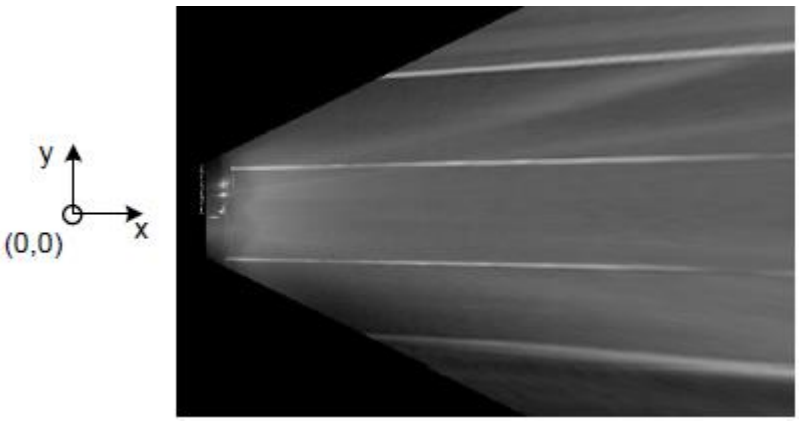
Рис. 3.10 – Процес калібрування камери

Рис. 3.11 – Результат калібрування

3.3. **Зворотна корекція перспективи**

Далі, до зображення застосовується корекція перспективи (IPM). IPM - це геометричне перетворення, яке видаляє ефект перспективи з зображення, надаючи йому вигляд пташиного польоту [30]. У порівнянні із зображенням з камери, на якому маркери смуги руху зображуються як лінії, що зменшуються в товщину та сходяться поблизу горизонту, після корекції перспективи смуги виглядають паралельними лініями, які мають постійну товщину на зображенні [31]. Порівняння між зображенням з камери I_n та зображенням з корекцією перспективи показано на рис. 3.12. Виконуючи IPM на зображенні, виявлення смуги руху тепер стає проблемою розміщення пари паралельних ліній майже постійної товщини, які, як правило, розділені заздалегідь визначеною фіксованою відстанню у зображенні [26].

а) Зображення камери з початком координат у верхньому лівому куті



б) Світове зображення з початком координат зліва

Рис. 3.12 - Порівняння зображень з камери та після корекції перспективи

Щоб створити зображення, перетворене на IPM, спочатку треба встановити набір систем координат. Світова система координат, виражена у метрах (x; y), відповідає системі координат зображення, перетвореного IPM. Початковий або оптичний центр розташований зліва та поза зображенням. Система координат зображень, виражена в пікселях, відповідає системі координат зображень до геометричного перетворення, розташованому в лівій верхній частині зображення. Дві системи координат показані на Рис. 3.12. Ми будемо називати зображення, що перетворюються IPM, як " реальне зображення ", а попередньо трансформоване зображення як "зображення камери". При перетворенні IPM відображення кожного пікселя (x; y) із реального зображення у зображення камери (r, c) [27] визначається як:

$$r(x) = \frac{M-1}{2}\left(1 + \frac{h - x' \cdot \tan\theta_o}{h \cdot \tan\theta_o + x'} \cdot \cot\alpha_v\right) + 1 \tag{5}$$

$$c(x,y) = \frac{N-1}{2}\left(1 - \frac{y'}{h \cdot \sin\theta_o + x' \cdot \cos\theta_o} \cdot \cot\alpha_u\right) + 1 \tag{6}$$

де

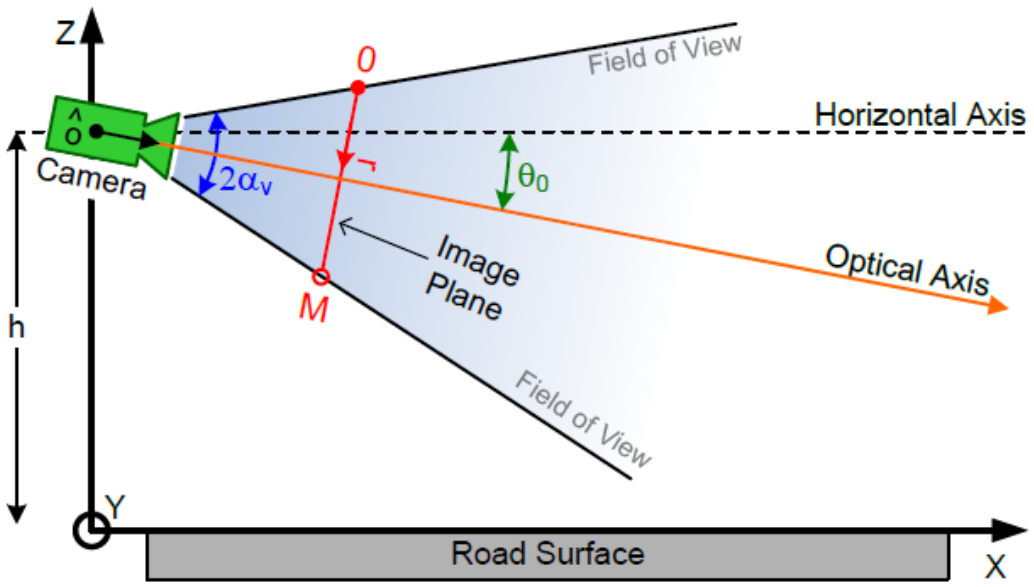
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma \\ \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{7}$$

У рівнянні (5) і (6), h - висота камери від землі, θ_o – кут нахилу відносно горизонту, u - горизонтальне поле зору, v - вертикальне поле зору, γ - кут рискання, (M x N) - розмір зображення камери. На Рис. 3.13 (а), вид збоку або вид вздовж осі Y показує конфігурацію камери вздовж і пов'язані з нею параметри калібрування з одиничним вектором, що представляє оптичну вісь камери. Аналогічно в на Рис. 3.13 (б) конфігурація камери показана вздовж осі Z або вид зверху. Значення α_u та α_v, використані в рівнянні (5) та (6) надає виробник лінз. Аналогічно, значення M і N надає виробник камери. θ_o визначається, оцінюючи розташування горизонту (r_H) на зображенні камери, як показано на Рис. 3.14, а потім вирішують

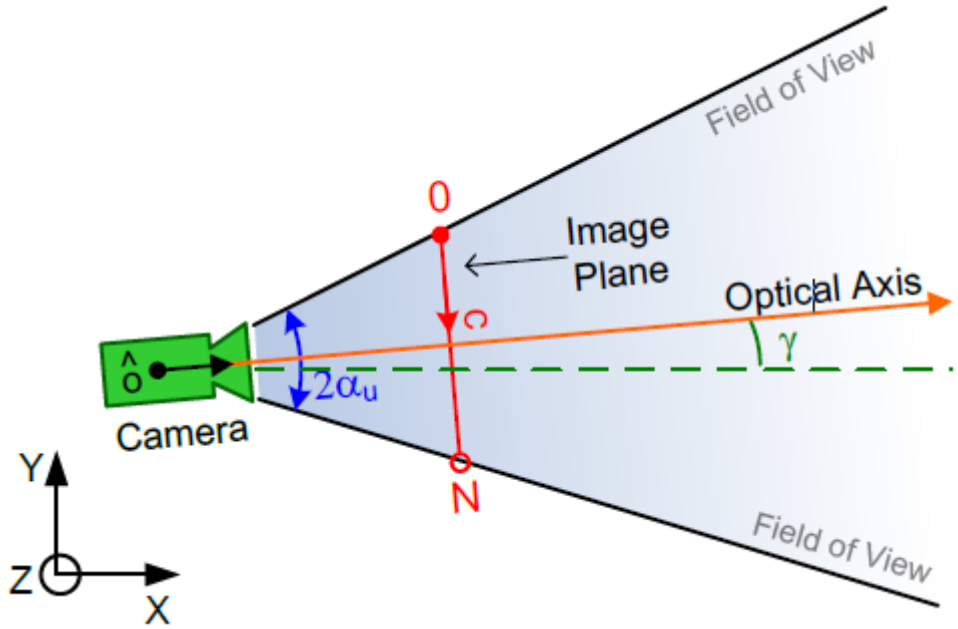
$$\theta_o = \tan^{-1}\left(\left[1 - 2\left(\frac{r_H - 1}{M - 1}\right)\right]\tan\alpha_v\right) \tag{5}$$

як показано в [27].

а)



Уздовж осі Y (вид збоку)



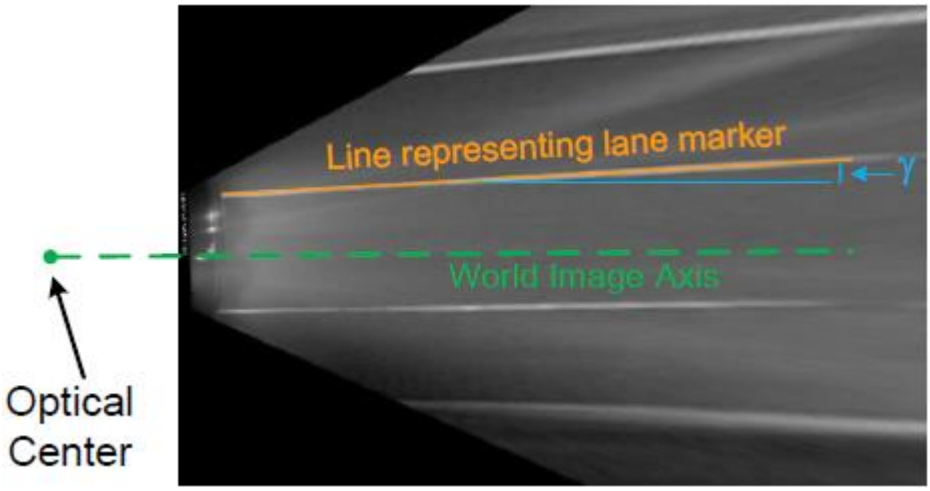
б) Уздовж осі Z (вид зверху)

Рис. 3.13 - Конфігурація камери

Рис. 3.14 - Розташування горизонту (rH) на зображенні камери

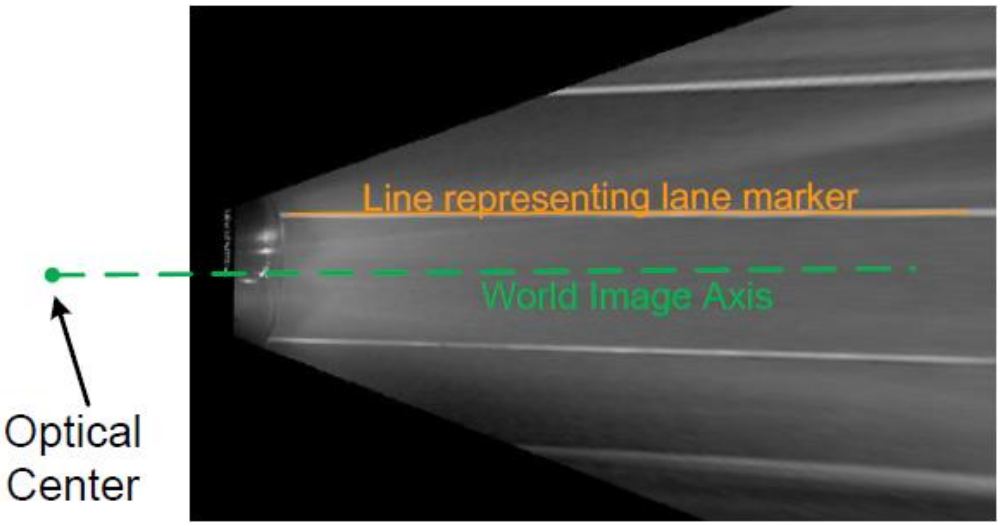
Припускаючи, що транспортний засіб рухається по прямій дорозі з маркерами прямої смуги руху, як показано на Рис. 3.14, γ визначається обертанням реального зображення щодо оптичного центру камери, поки маркери смуги на зображенні не були горизонтальними.

Оскільки реальне зображення є перспективним, відстань у реальному світі, що відповідає відстані між двома пікселями, є постійною протягом усього зображення. Наприклад, реальне зображення в блоці IPM створюється з роздільною здатністю 25 пікселів / метр. Це означає, що відстань між 25 пікселями в горизонтальному чи вертикальному напрямках реальне зображення дорівнює одному метру в реальному світі. Такого співвідношення між піксельними відстанями не існує у зображенні камери, оскільки воно не вільне від ефекту перспективи. Роздільна здатність 25 пікселів / метр обрана таким чином, щоб маркери смуги мали товщину в кілька пікселів на зображенні світу, а не виглядали як тонкі відрізки ліній, як видно на Рис. 3.15 (б).



а) Світове зображення з кутом рискання

б)



Світове зображення із скоректованим кутом рискання

Рис. 3.15 - Процедура корекції гамми на зображенні світу.

Процедура корекції перспективи (Bird's Eye View Transformation)

Паралельні лінії сходяться на зображеннях з передньої камери завдяки ефекту перспективи. Для збереження паралельних ліній паралельними для фотограмметрії слід застосовувати трансформацію Bird's Eye View [31].

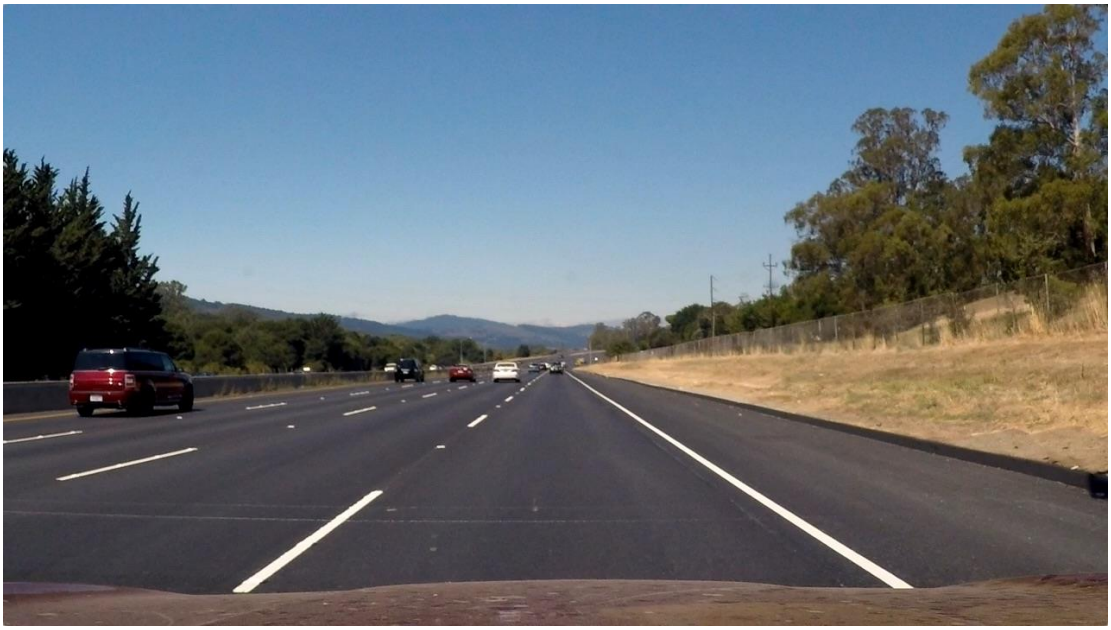


Рис. 3.16 – Вихідне зображення з передньої камери

Надалі емпіричним шляхом визначається область інтересу (ROI) та зображення обрізається.

Рис. 3.17 – Зображення із областю інтересу

Та застосовується зворотна корекція перспективи.

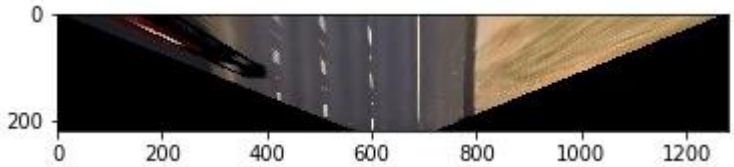


Рис. 3.18 – Скоректоване зображення

На Рис.3.18 можна побачити викривлення розмітки, оскільки зображення з даної камери не калібрувалося.

Для обчислення перспективного перетворення M використовується функція з OpenCV *cv2.getPerspectiveTransform(src, dst)*. Для обчислення зворотного перспективного перетворення використовуємо

cv2.getPerspectiveTransform (dst, src). Нарешті, ми можемо скоректувати зображення, використовуючи перспективне перетворення *cv2.warpPerspective (img, M, img_size, flags = cv2.INTER_LINEAR)*.

Для цього необхідно визначити чотири [32] точки вихідних координат для перспективного перетворення. У цьому випадку припускається, що дорога - це плоска площина. Потрібно підібрати чотири точки трапецієподібної форми (подібні до маскування регіону), які б представляли прямокутник, дивлячись на дорогу зверху вниз.

Існує багато способів її вибору. Наприклад, багато алгоритмів перспективного перетворення програмно виявлять чотири вихідні точки в зображенні на основі виявлення краю чи кута та аналізують такі атрибути, як кольори та навколишні пікселі.

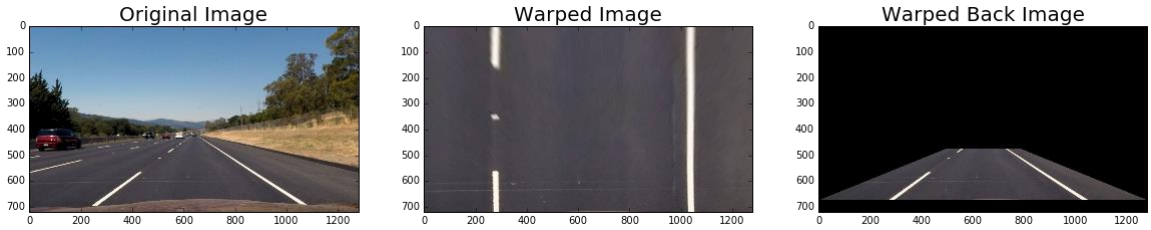


Рис. 3.19 – Корекція перспективи відкаліброваного зображення

```
Here is the straight image shape:  (720, 1280, 3)
Here are the initial src pts: [[ 384.  675.]
 [ 581.  477.]
 [ 699.  477.]
 [ 896.  675.]]
Here are the ordered src pts: [[ 581.  477.]
 [ 699.  477.]
 [ 896.  675.]
 [ 384.  675.]]
Here are the dst pts: [[ 384.    0.]
 [ 896.    0.]
 [ 896.  720.]
 [ 384.  720.]]
```

Рис. 3.20 – Вихідні та кінцеві точки

3.4 **Порогова обробка зображень**

Порогова обробка зображення - перетворення значень інтенсивності пікселів зображення шляхом порівняння інтенсивності кожного пікселя із заданим пороговим значенням та встановленням в задане значення інтенсивності [33].

Розглянемо бінарну порогову обробку. У даному випадку значення інтенсивності пікселів після порівняння з пороговим значенням встановлюється в одне з двох можливих значень інтенсивності (мінімальне або максимальне). Такий підхід простий, але дієвий лише в деяких випадках освітленості з деякими обмеженнями.

Такий тип обробки не завжди можна використати, особливо при наявності нерівномірного освітлення в різних частинах зображення. В даному випадку необхідно використовувати адаптивну порогову обробку. Даний тип обробки визначає порогове значення для невеликого регіону вхідного зображення. Таким чином для одного зображення будемо мати декілька регіонів з різними пороговими значеннями. Розмір регіону ми визначаємо самі флагом ***blockSize.***

Для цього використовується вбудована в OpenCV функція *cv2.adaptiveThreshold*() із флагом *cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C.*

Для прикладу застосуємо даний підхід до Рис. 3.21.

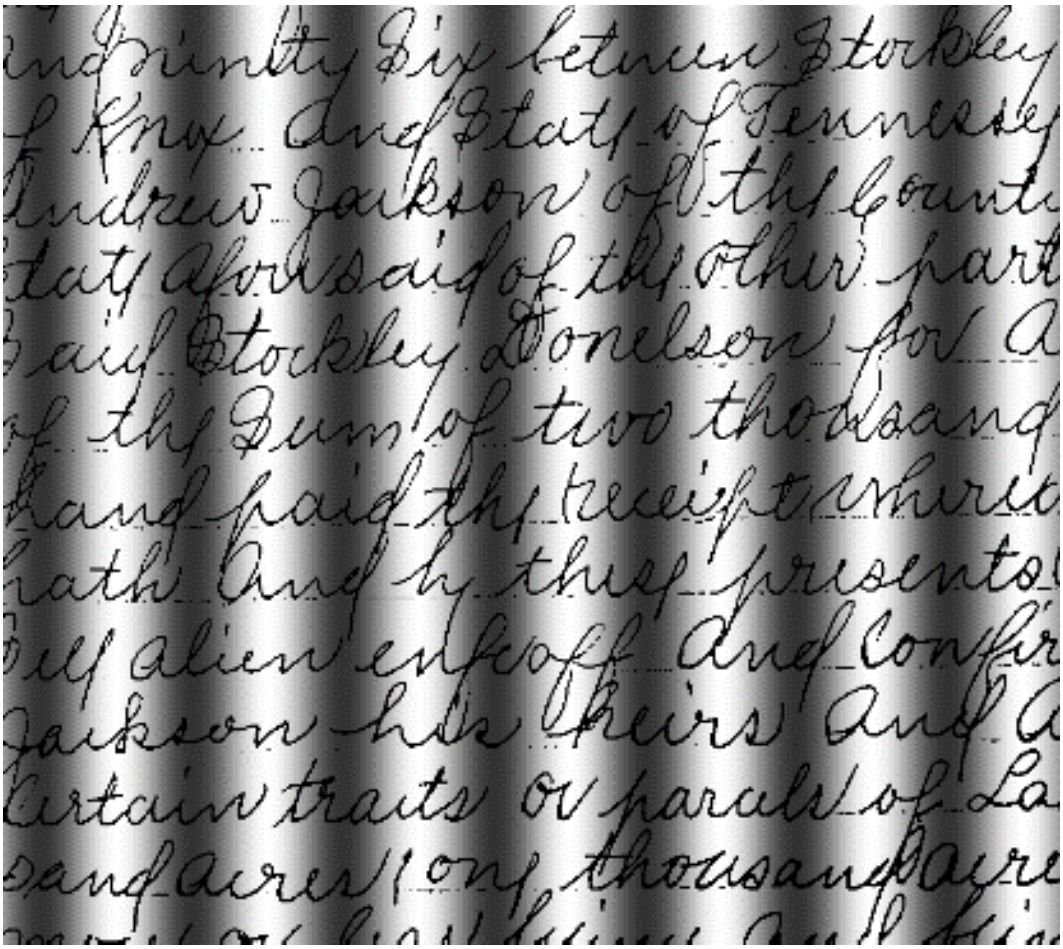


Рис. 3.21 – Вихідне зображення для порогової обробки

Якщо застосувати глобальну порогову обробку, то отримаємо зображення, яке надалі складно обробляти (Рис. 3.22).

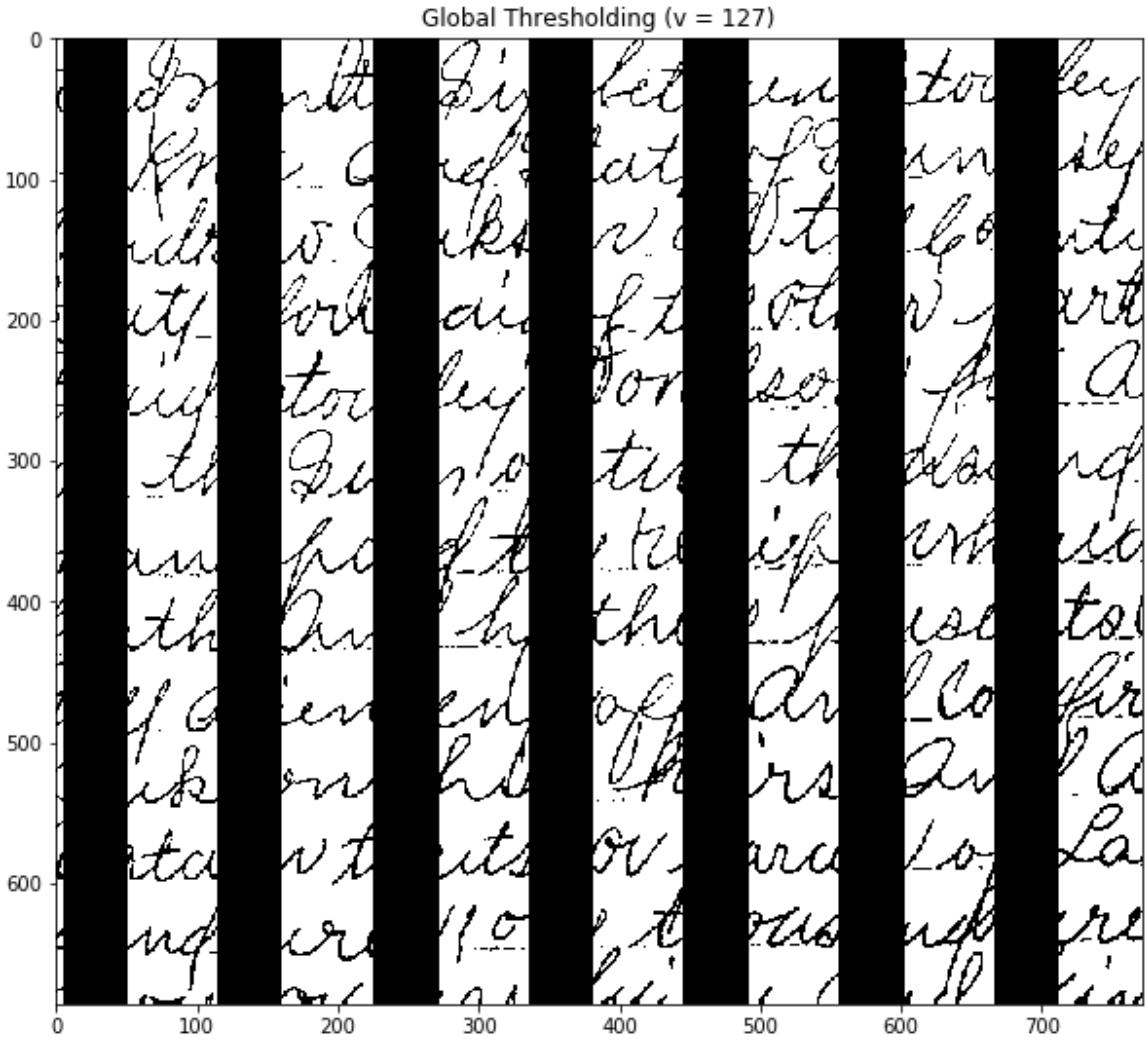


Рис. 3.22 – Приклад глобальної порогової обробки

Застосування адаптивного порогу використовує невелике ковзаюче вікно для визначення локального порогу. На Рис. 3.23 показаний результат такої обробки.

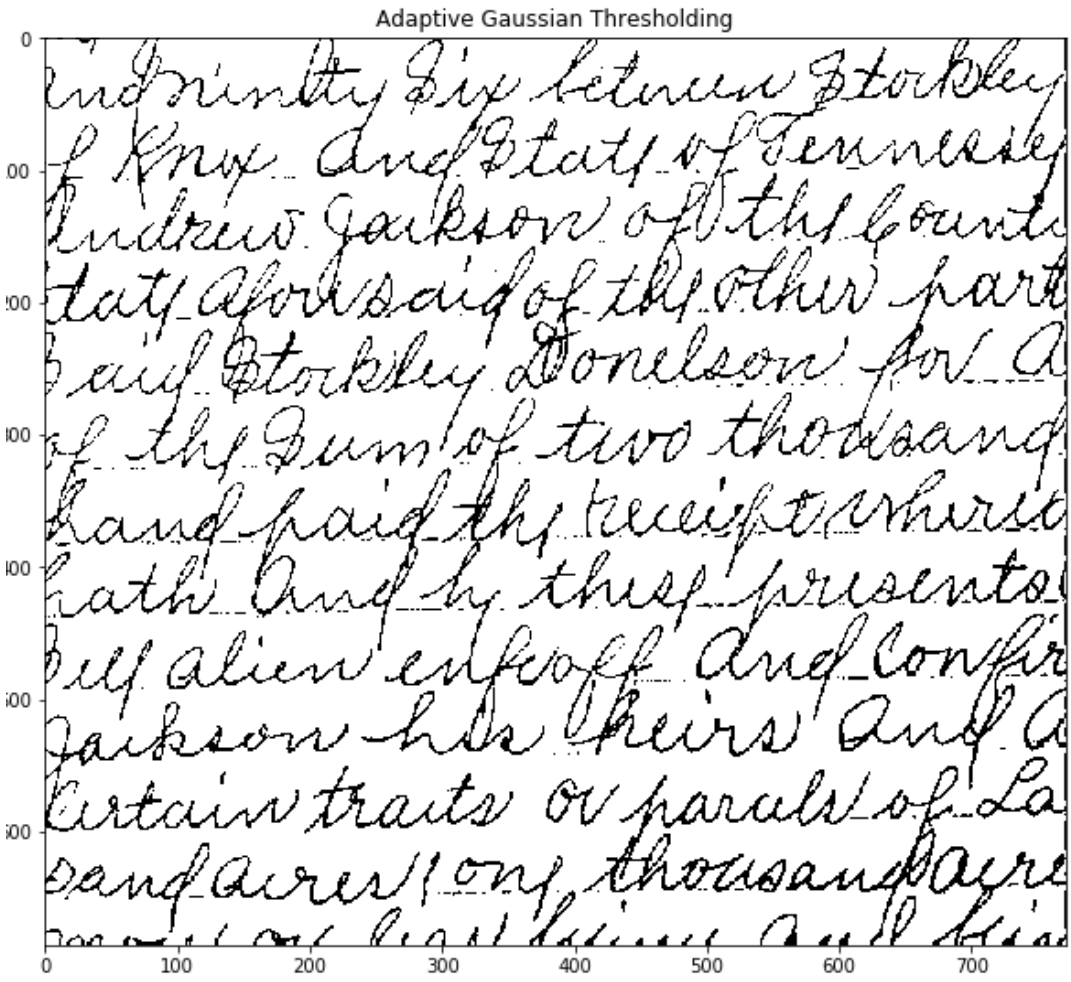


Рис. 3.23 – Приклад адаптивної порогової обробки

Як можна побачити з Рис. 3.23 даний підхід дає добрий результат незалежно від освітлення, тому використаємо даний підхід для попередньої обробки зображення в алгоритмі детектування розмітки.

Як приклад маємо вихідне зображення BEV (Рис.3.24):

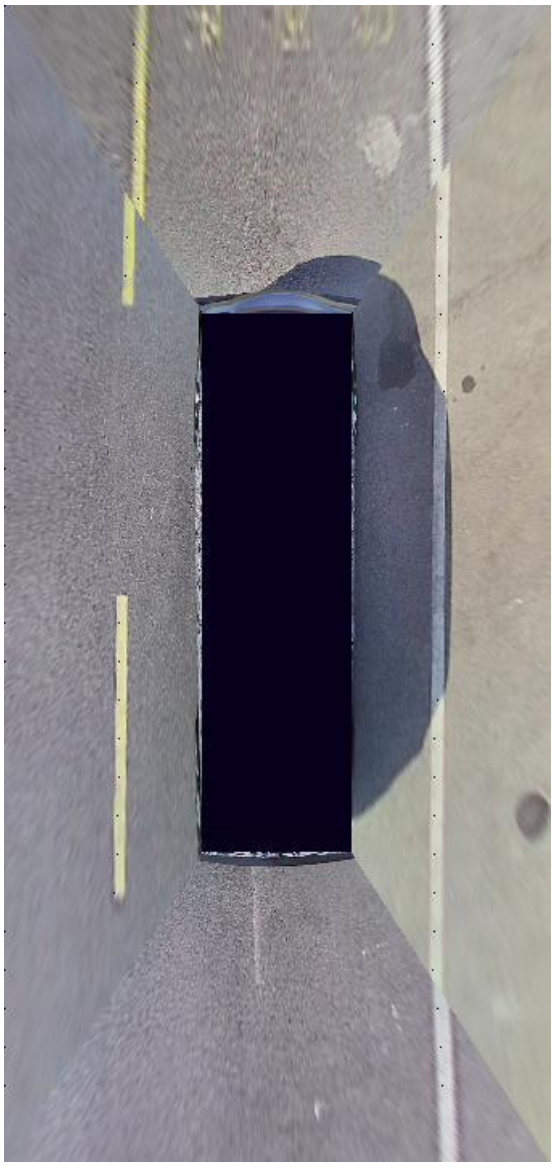


Рис. 3.24 – Вихідне зображення BEV

Після застосування адаптивного бінарного (порогового) перетворення отримуємо зображення для подальшої обробки (Рис. 3.25):

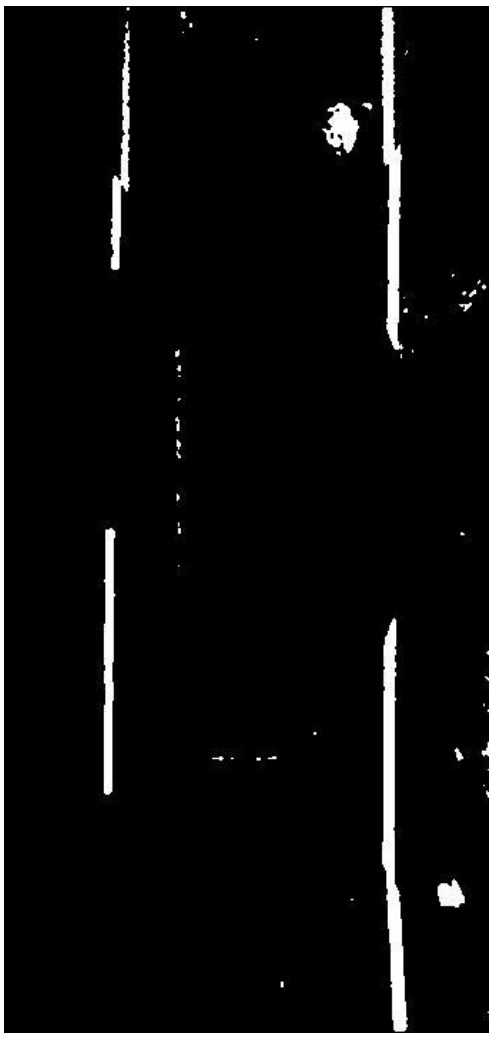


Рис. 3.25 – Зображення BEV після порогової обробки

3.5 **Локалізація дорожньої розмітки за допомогою профілограми зображення**

Одним з методів знаходження розмітки є метод профілограми. *Профілометрія* (англ. Profilometry) - процес вимірювання («зняття») профілю перетину поверхні в площині, перпендикулярній до неї і орієнтованої в заданому напрямку. Тобто профілограма є профілем зображення. Для цього сумуються пікселі по стовпцях в залежності від яскравості. Якщо необхідно, то по заданому порогу профіль фільтрується. Оскільки розмітка зазвичай біла, яскрава на фоні темного дорожнього покриття та займає значну частину на зображенні, ми можемо за допомогою піків профілограми визначати координати розмітки на зображенні [34].

Для прикладу маємо вихідне зображення з передньої камери (Рис. 3.26):

Рис. 3.26 – Вихідне зображення з передньої камери

Надалі для спрощення розрахунків обріжемо зображення відповідно до області інтересу. Та виконаємо всі зазначені вище операції. В результаті отримаємо профілограму та бінарне зображення (Рис. 3.27).

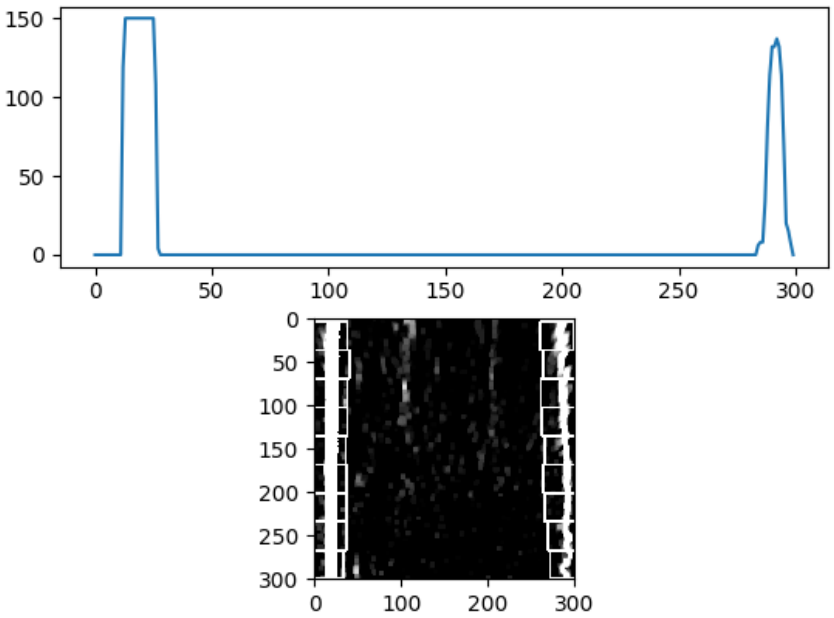


Рис. 3.27 – Профілограма та бінарне зображення розмітки

Відповідно маємо 2 локальних піки на розрахованій профілограмі. Якщо цей максимум перевищує заданий поріг, то з певною імовірністю можна сказати, що це розмітка і таким чином визначити її координати (Рис. 3.28).

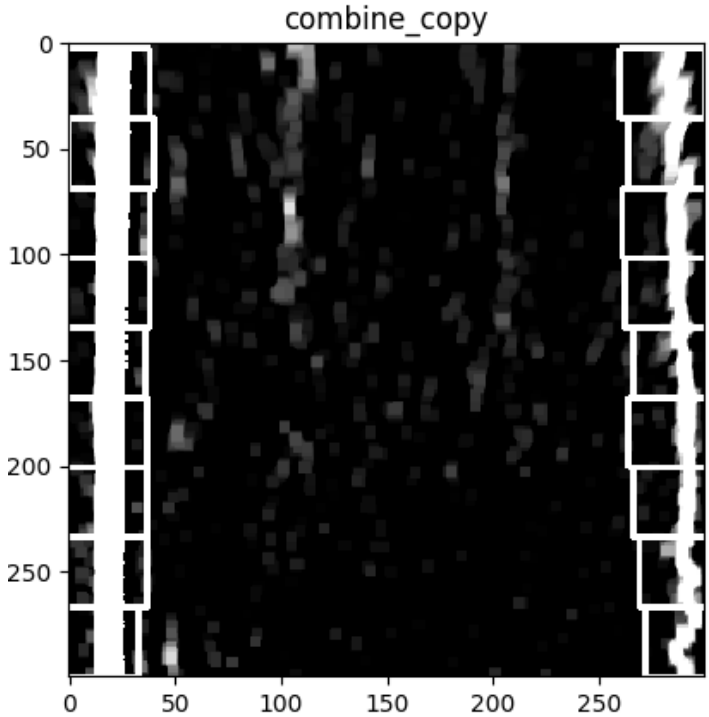


Рис. 3.28 – Бінарне зображення із локалізованою розміткою

Однак даний підхід не відрізняється високою точністю, оскільки він ніяк не перевіряє схожість знайденого об’єкту із реальною розміткою.

3.6 **Локалізація дорожньої розмітки за допомогою одномірної згортки**

Згортка (англ. convolution) — математична операція двох функцій f(t) та g(t, що дозволяє отримати третю функцію:

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t-\tau)g(\tau)d\tau \tag{6}$$

Основною властивістю згортки є те, що фур'є-образ згортки пропорційний добутку фур'є-образів функцій [35].

Згортка є методом аналізу сигналів. Цей математичний апарат знайшов застосування в обробці зображень у сфері комп'ютерного зору або дистанційного зондування з супутників, у яких порівнюються дані з різних зображень, у радарних або гідроакустичних установках для дальнометрії та місцевизначення, у яких порівнюються передані та відбиті сигнали [36].

Згортка дозволяє визначити ступінь незалежності одного процесу від іншого або встановити подібність одного набору даних до іншого. Згортка також є невід'ємною частиною процесу кореляції, що, по суті, та ж згортка двох послідовностей даних, при обчисленні якої одна з послідовностей звернена в часі. Це означає, що для обчислення кореляції та згортки можуть використовуватися ті ж самі алгоритми [36].

Існує кілька способів розрахунку відклику системи на довільний вхідний сигнал. Найбільш розповсюджений спосіб розрахунку полягає в тому, що ми обчислюємо значення кожної точки в результуючому сигналі як зважену суму певної множини сусідніх точок вихідного сигналу. Коефіцієнти цієї суми збігаються з імпульсною характеристикою лінійної системи, розгорнутої

відносно точки 0. Звідси й береться формула згортки для одновимірного випадку:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n-k] \cdot h[k] \qquad (7)$$

Згортка в обробці зображень використовується в багатьох фільтрах, наприклад для розмиття, чи виявлення контурів.

Розглянута операція отримання результуючого сигналу по вхідному називається *згорткою* (compression). Отже, будь-яка лінійна система здійснює згортку вхідного сигналу зі своєю імпульсною характеристикою. Це записується так: $y[n] = x[n] * h[n]$. Функція *h[n]* називається ядром згортки або імпульсною характеристикою лінійної системи [36].

Зазвичай всі сигнали, що обробляються на ЕОМ, мають кінцеву тривалість (тобто відмінні від нуля лише на кінцевому відрізку). Розглянемо, що відбувається з сигналом кінцевої тривалості, коли його згортають з кінцевим ядром згортки. Нехай сигнал *x[n]* відмінний від нуля тільки на відрізку від 0 до N-1 включно («має довжину К»). Нехай ядро згортки *h[n]* відмінне від нуля на відрізку від $-m_1$ до m_2 включно, що складається з М точок ($M = m_1 + m_2 + 1$). Тоді при підстановці цих сигналів в рівняння згортки, отримаємо сигнал $y[n]$, який відрізняється від нуля на відрізку від $-m_1$ до $N-1+m_2$ включно. Таким чином, довжина результуючого сигналу дорівнює $N+M-1$, тобто сумі довжин вихідного сигналу і ядра згортки мінус один. Отже, операція згортки розширює сигнал на *M-1* точку, де *M* – довжина ядра згортки [36].

В фотографії, несфокусована фотографія є згорткою чіткого зображення з функцією лінзи. Фотографічний термін для цього поняття - Боке.

Згортка двох квадратних імпульсів: результатом є імпульс трикутної форми. Одна з функцій (в даному випадку g) спочатку відображається через τ =0 і тоді зсувається на t, результатом є g(t- τ). Площа під кривою, що є

добутком цих фунцій і є згорткою по t. Горизонтальна вісь це τ для f і g, і t для f * g (Рис. 3.29).

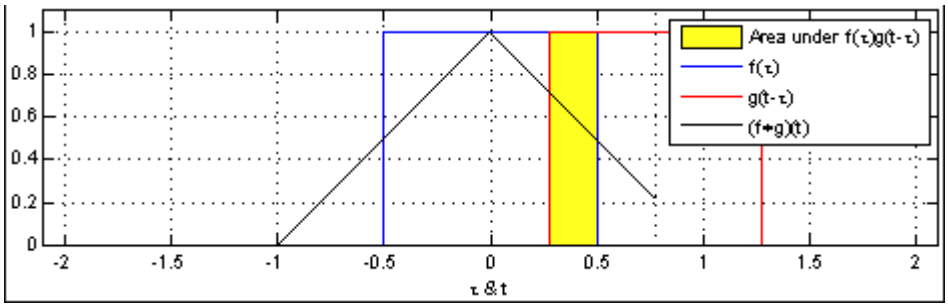


Рис. 3.29 – Згортка двох прямокутних імпульсів

Згортка квадратного імпульсу (вхідний сигнал) з імпульсом відповіді в RC колі для отримання кривої вихідного сигналу. Інтеграл добутку — це площа жовтої ділянки [36] (Рис. 3.30).

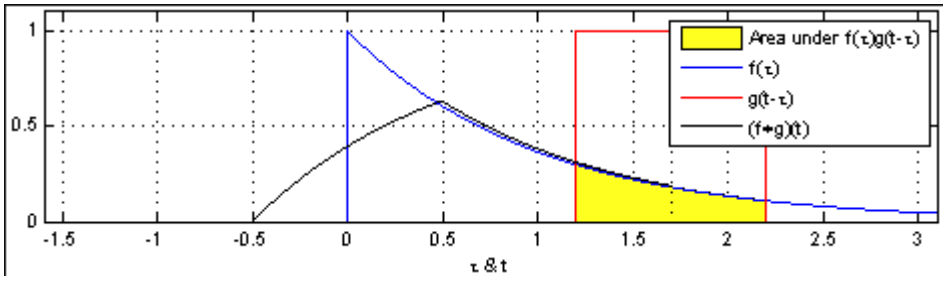


Рис. 3.30 – Згортка квадратного імпульсу з імпульсом відповіді в RC колі

Форма розмітки має прямокутний імпульс в одновимірному просторі. Тому можна спробувати не просто шукати максимуми на профілограмі, а застосувати одномірну згортка. Ширина розмітки визначена стандартом та на зображенні має ширину біля 12 пікселів. Створюємо опорний сигнал (Рис. 3.31) та робимо згортку із профілограмою зображення. Максимуми вихідного сигнал покажуть локалізацію розмітки.

Операцію згортки виконаємо за допомогою функції *convolution()* з бібліотеки *math*, яку надає Texas Instrument (TI).

На Рис. 3.32 показана профілограма зображення та його згортка із опорним шаблоном. Сигнал згортки зсунут відносно профілограми. Цей ефект має назву «padidng», оскільки ядро згортки ковзає по сигналу, зображення

необхідно доповнити нулями. Червоним показана локалізація дорожньої розмітки відносно максимумів згортки.

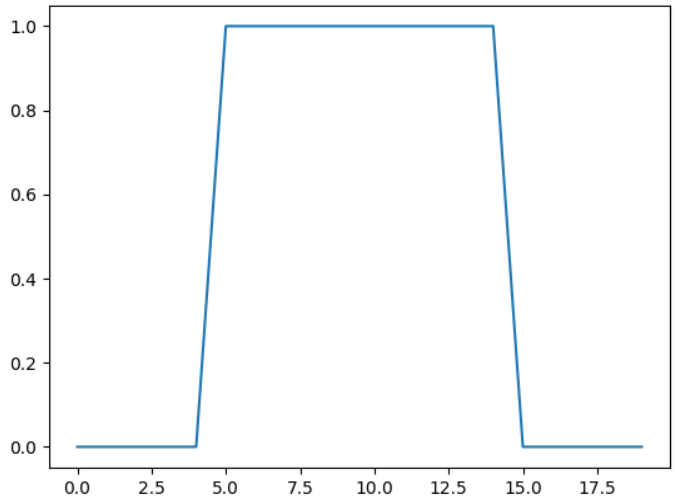


Рис. 3.31 – Опорна профілограма розмітки

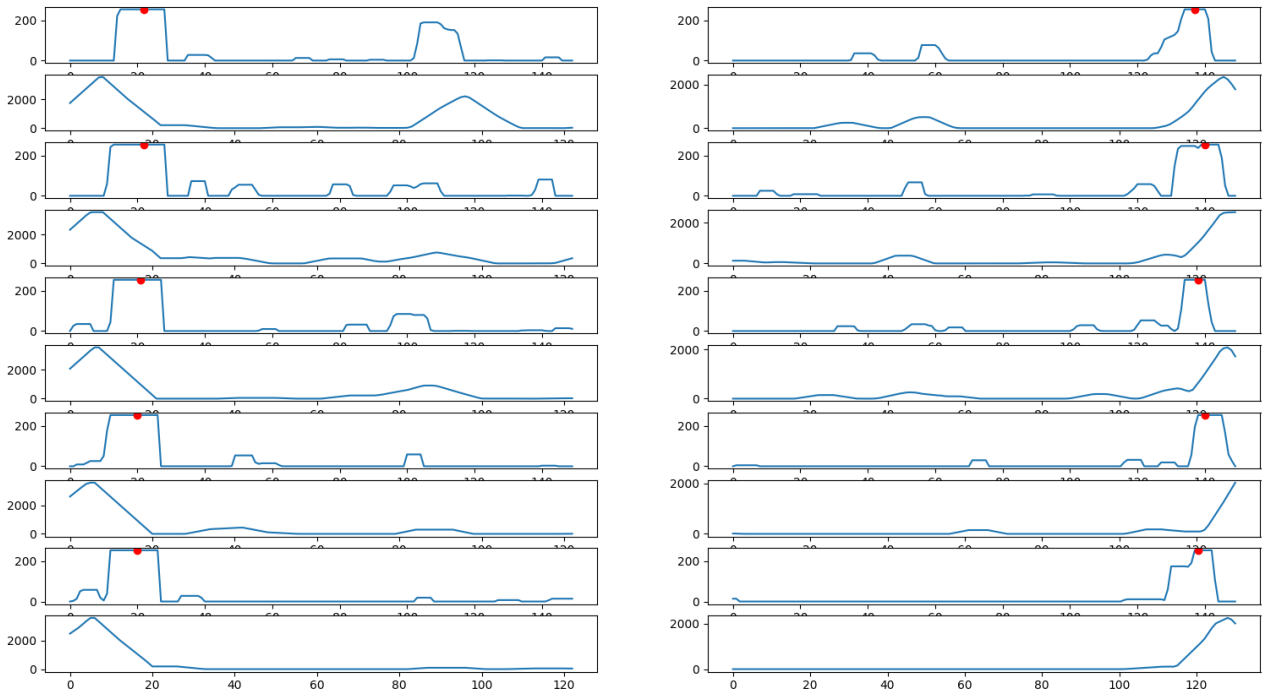


Рис. 3.31– Профілограма зображення та його згортка із шаблоном

В результаті отримуємо координати розмітки на зображенні, які переносимо на вихідне зображення (Рис. 3.32)

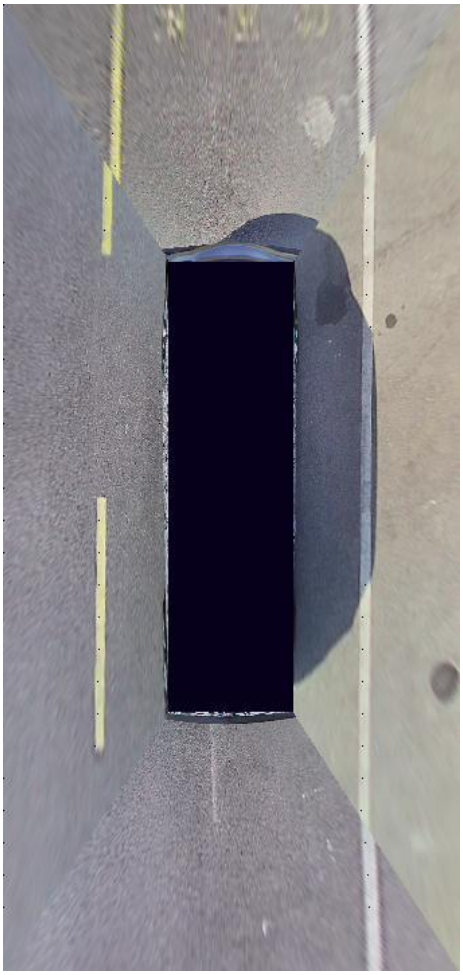


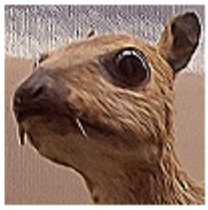
Рис. 3.32 – Локалізована розмітка (крапки на лініях) на вихідному зображенні

Одномірна згортка дає високу вірогідність розпізнавання розмітки, але можливі хибно позитивні результати через недостатню інформацію для одномірного сигналу. Як можна побачити на Рис. 3.32, в районі тіні автомобіля розмітка не розпізнана через недостатню освітленість.

3.6 **Локалізація дорожньої розмітки за допомогою двомірної згортки**

Двомірна згортка (ядро, матриця згортки) — матриця, зазвичай, малих розмірів, що використовується в обробці зображень як фільтр для розмиття, підвищення різкості, виділення границь тощо. Обробка зображення полягає у обчисленні нового значення обраного пікселя з врахуванням значення оточуючих його пікселів [37].

В залежності від елементів матриці згортка може викликати різні ефекти (Рис. 3.33).

Тотожне відображення	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Виділення границь	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	
Sharpen	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	

Розмиття квадратом	$\frac{1}{9}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix}$	
Гаусове розмиття	$\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix}$	
5×5 Нерізке розмиття	$\frac{-1}{256}\begin{bmatrix}1 & 4 & 6 & 4 & 1\\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4\\ 6 & 24 & -476 & 24 & 6\\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4\\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1\end{bmatrix}$	

Рис. 3.33 – Приклади використання двомірної згортки

Згортка - це процес додавання кожного елемента зображення до його сусідів, зважених ядром. Важливо зауважити, що виконувана матрична операція - згортка - це не звичайне множення, хоча й позначається * [37].

Наприклад, якщо ми маємо дві 3x3 матриці, перша - ядро, друга - шматок зображення, згортка - це процес транспонування рядків і стовпчиків ядра з наступним множенням і додаванням. Елемент з координатами [2, 2] (тобто, центральний елемент) отриманого зображення буде зваженою комбінацією всіх елементів матриці зображення, з вагами взятими з ядра [38]:

$$\left(\begin{bmatrix}a & b & c\\ d & e & f\\ g & h & i\end{bmatrix} * \begin{bmatrix}1 & 2 & 3\\ 4 & 5 & 6\\ 7 & 8 & 9\end{bmatrix}\right)[2,2] = (i\cdot 1)+(h\cdot 2)+(g\cdot 3)+(f\cdot 4)+(e\cdot 5)+(d\cdot 6)+(c\cdot 7)+(b\cdot 8)+(a\cdot 9). \quad (8)$$

Значення кожного пікселя у вихідному зображенні дорівнює сумі добутків значень матриці згортки і відповідних пікселів вхідного зображення. Це можна описати наступним псевдо кодом [39]:

```
for each image row in input image:
   for each pixel in image row:

      set accumulator to zero

      for each kernel row in kernel:
         for each element in kernel row:

            if element position  corresponding* to pixel position then
               multiply element value  corresponding* to pixel value
               add result to accumulator
            endif

      set output image pixel to accumulator
```

Двомірна згортка має такі ж властивості як і одномірна, тільки тут застосовується двомірний сигнал – зображення. Аналогічно створимо опорний шаблон розмітки, але як зображення (Рис. 3.34).

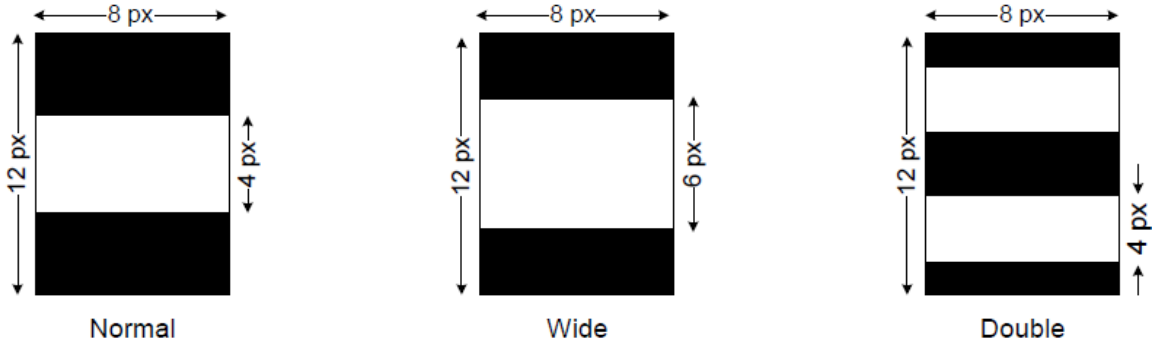


Рис. 3.34 – Приклади опорних шаблонів розмітки для двомірної згортки

Операцію згортки виконаємо за допомогою функції *convolution_2d()* з бібліотеки *math*, яку надає Texas Instrument (TI). Як шаблон використаємо широку розмітку.

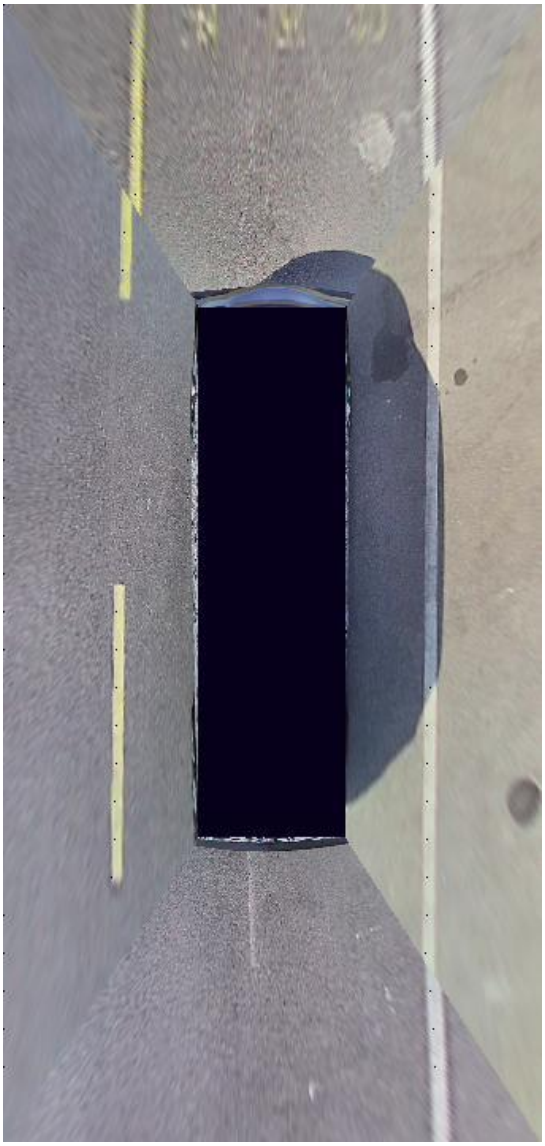


Рис. 3.35 – Вихідне зображення

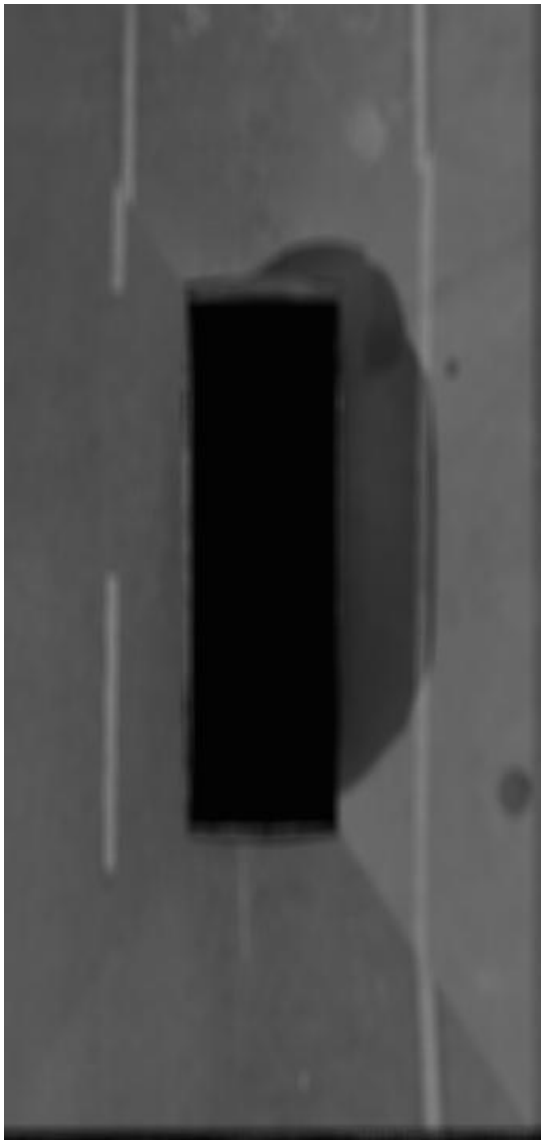


Рис. 3.36 – Зображення двомірної згортки

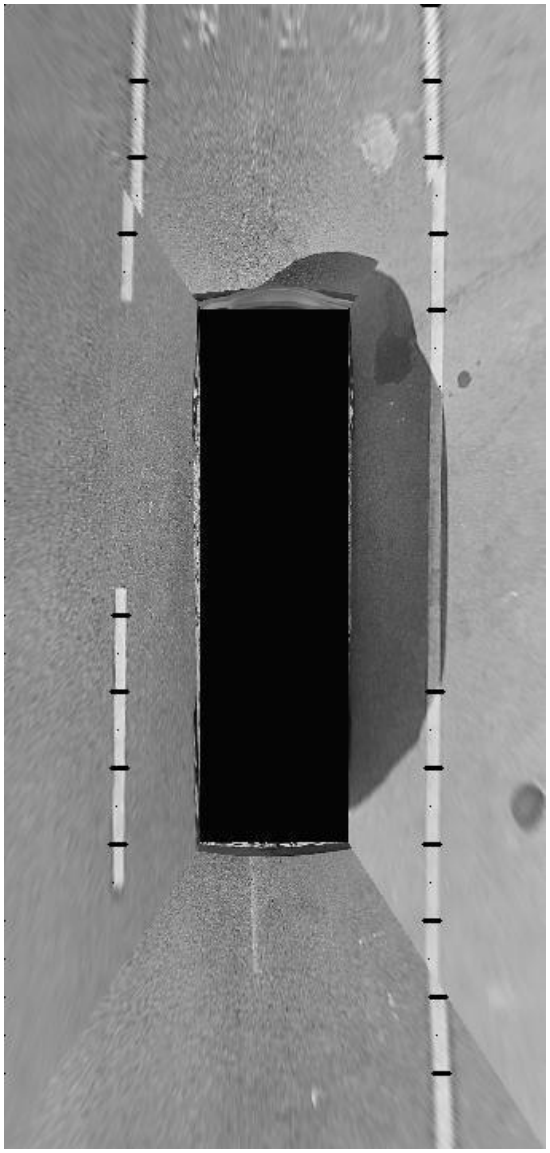


Рис. 3.37 – Локалізована розмітка на вихідному зображенні

На Рис. 3.36 показаний результат роботи двомірної згортки. Лінії розмітки стали більш виразними, а інші деталі стали менш явними. Знаходженням максимумів на зображенні згортки локалізуємо розмітку на вихідному зображенні. Також перед початком операції згортки необхідно виконати «padding» зображення, тобто його доповнення [40]. На Рис. 3.37 показаний результат роботи двомірної згортки. Розмітка в тіні залишилася не локалізованою, оскільки алгоритм згортки отримує зображення без явної розмітки в тій частині. Даний підхід дозволяє підвищити точність локалізації та зменшити час обробки зображення.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

В даному розділі було описано основні підходи, способи та алгоритми для детектування та локалізації дорожньої розмітки. Для коректної роботи всього алгоритму необхідно виконати ряд дій попередньої обробки, такі як тимчасове розмиття зображення для кращого детектування розмітки, калібрування камери для корекції дисторсії та ефекту бочкообразності. Надалі виконується зворотна корекція перспективи для видалення ефекту перспективи та отримання виду згори (BEV). Цей крок полегшить локалізацію розмітки, оскільки вона буде представлена двома паралельними лініями. Наступним кроком виконується порогова обробка зображення для видалення зайвих деталей та оптимальної роботи алгоритму локалізації.

Тепер можна переходити до безпосередньої детекції та локалізації дорожньої розмітки. Першим підходом було запропоновано детекцію за профілограмою зображення, але даний підхід не відрізняється високою точністю. Більшу точність здатна забезпечити одномірна згортка, яка аналізує не тільки максимуми профілограми, але і схожість розмітки на еталон. Двомірна згортка оперує не одномірними сигналами, а двомірними – зображеннями. Вона дозволяє напряму задавати зображення розмітки як шаблон, пришвидшує час роботи алгоритму та підіймає точність локалізації.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ТЕЛЕВІЗІЙНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ»

В попередніх розділах було розглянуто експериментальну модель телевізійної системи керування автомобілем та встановлено, що розробка такого пристрою можлива. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Телевізійна система керування автомобілем».

4.1 Опис ідеї проекту

У даному підрозділі розглянуто зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, які отримує користувач, а також за даними таблиць 4.1 та 4.2 [41] визначена його конкурентоспроможність на ринку.

Головною ідеєю у розробці телевізійної системи керування автомобілем є перехід до принципово нової системи обробки інформації, яка використовує оптично оптимізований об’єктив та пришвидшені методи обробки зображень, що дає значно більшу швидкість роботи та підвищену точність реєстрації дорожньої розмітки (табл. 4.1).

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	**Напрямки застосування**	**Вигоди для користувача**
Проектування телевізійної системи керування автомобілем	1. Автомобілебудування 2. Автомотів 3. Інформаційні технології	1. Збільшення потоків інформації 2. Збільшення швидкості обробки інформації при роботі з GPU контролерами 3. Можливість паралельної обробки інформації

Отже, завдяки розробці такого пристрою значно підвищується як об’єм оброблених даних, точність, так і швидкість цієї обробки. Можливими

напрямками застосування є сфери автомобілебудування, інформаційних технологій та науці. Основними користувачами в таких сферах можуть бути виробники автомобілів, консалтингові компанії, аутсорсні компанії, спеціалісти з цифрової обробки зображень, в роботі яких необхідна швидка паралельна обробка великого обсягу даних.

Наступним етапом є аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [41]. Для цього визначимо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї, попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. Після цього обов’язковим є проведення порівняльного аналізу показників для власної ідеї та визначимо показники, які мають гірші значення (W, слабкі), аналогічні (N, нейтральні) значення, кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	**Техніко-економічні характерис-тики ідеї**	**(потенційні) товари/концепції конкурентів**				**W**	**N**	**S**
		Мій проект	**Zenuiti**	**Aptiv**	**Delphi**			
1	Економічні (вартість та підтримка)	5000$	50000$	45000$	15000$	-	-	+
2	Надійність	5 років	5 років	10 років	3 роки	-	+	-

Продовження таблиці 4.2.

№ п/п	Техніко-економічні характерис-тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	Zenuiti	Aptiv	Delphi			
3	Ергономічні	Мобільність та ергономічність	Прив'язаність до конкретного автомобіля	Класичні підходи	Слабкий функціонал	-	-	+
4	Технологічні	1,6 м	1,75 м	2 м	2 м	-	-	+
5	Естетичні	Строгі, приємний дизайн.	Яскраві, приємний дизайн	Строгі, приємний дизайн	Строгі, приємний дизайн	-	+	-
6	Визнана марка	-	+	+	-	+	-	-
7	Транспортабельні (доставка)	Кур'єрська служба	Кур'єрська служба	Кур'єрська служба	Кур'єрська служба	-	+	-
8	Підтримка (технічні)	+	+	+	-	-	+	-
9	Економічні, (інвестування)	-	+	+	+	+	-	-

де W – слабка сторона, N – нейтральна сторона, S – сильна сторона.

Сильною стороною даного проекту є його вартість, невисока габаритність, простота керування та мобільність, яка дозволяє просту установку приладу з подальшою експлуатацією на будь-яких автомобілях. Прилад має зручне та інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення, а конструкція має строгий дизайн. Слабкою стороною даного проекту є те, що

проект не має інвестицій та не є відомим, тобто, не зважаючи на невисоку вартість, споживач може не знати про даний прилад. Це означає, що необхідні інвестиції для запуску рекламної кампанії для цього продукту. Всі інші характеристики є нейтральними. Оскільки сильних сторін у проекту більше, ніж слабких, даний проект можна вважати конкурентоспроможним.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У даному підрозділі проведено аудит технологій [41], за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту, та обрано одну, по якій буде далі реалізовано проект.

Для розрахунку оптичних систем поширеним є метод, що базується на основі теорії аберацій 3-го та 5-го порядків. Інший підхід зводиться до використання методу локальної оптимізації. За своєю суттю, алгоритми локальної оптимізації поліпшують поточний розв’язок шляхом здійснення відносно невеликих локальних змін. Для цього, зазвичай, на кожному кроці розраховуються перші та другі похідні. Ітераційний процес продовжується до тих пір, поки він не зійдеться до оптимального розв’язку або поки не буде вичерпано певний ліміт часу чи кількості спроб. В цілому, зазначені підходи виявилися ефективними для розв’язання ряду багатовимірних задач. Зокрема, їх часто застосовують для розробки оптичних систем різноманітного призначення.

Проте, незважаючи на вказані позитивні сторони, розглянуті «класичні» методики мають ряд недоліків, головними з яких є обмеженість розв’язку абераціями нижчих порядків або потреба в якісній стартовій оптичній системі. Тому й виникла необхідність в «універсальному» підході, який не потребував би якісної вихідної системи та досвіду висококваліфікованого розробника.

Велику низку різнопланових та багатовимірних задач, які розв’язати аналітично неможливо, допомагає вирішити глобальна оптимізація (ГО) – галузь прикладної математики та числового аналізу. Результат дії ГО –

знаходження найкращого елемента з багатовимірної множини можливих елементів, що задовольняє заданому критерію. Як правило, такі критерії представляються математичними функціями та мають назву цільових (або оціночних) функцій.

Застосування принципів ГО для розробки моделі телевізійної системи керування автомобілем дасть великий приріст в швидкості роботи та точності відносно ринкових рішень.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових [41], які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	**Ідея проекту**	**Технології її реалізації**	**Наявність технологій**	**Доступність технологій**
1	Телевізійна система для керування автомобілем	Створення моделі пристрою детектування дорожньої розмітки	Наявні, але потрібно доробити	Доступні
2		Створення моделі пристрою локалізації дорожньої розмітки	Не наявні	Доступні
3		Створення моделі системи керування автомобілем	Наявні	Не доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: створення моделі телевізійної системи керування автомобілем				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект «Телевізійна система керування автомобілем» може бути технологічно реалізованим, проте технології необхідно вдосконалити, оскільки даний проект описано без частини проектування, що є вагомою при створенні продукту.

Також було проведено аналіз потреб та витрат на проект.

Таблиця 4.4. Планова потреба у виробничих площах

№ з/п	Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Кількість одиниць	Площа, кв. м	Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Умови надання	Вартість, тис. грн./місяць
1.	Офіс	1	40	Добре освітлене, температура згідно КЗпП, відповідне обладнання	Оренда	20
2.	Цех для збирання	1	60	Освітлення робочої поверхні не менше 700 лк, вологість не вище 50%, температура більше 16ºС	Оренда	30
3.	Лабораторія для випробувань	1	50	Освітлення робочої поверхні не менше 500 лк, можливість зміни температури та вологості		20
4.	Склад	1	20	Температура не нижче 10 ºС без різких перепадів, вологість повітря не більше 50%		10
	Разом	4	170	—	—	80

Таблиця 4.5. Загальні початкові витрати проекту

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
1.	Проведення НДДКР	10
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	10
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	30
4.	Витрати на придбання й оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	80
5.	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	20
6.	Витрати на приймально-здавальні випробування	10
7.	Витрати на пусконалагоджувальні роботи	5
8.	Комплексне освоєння проектних потужностей	5
9.	Витрати на придбання нематеріальних активів	4
10.	Одноразові виплати, зокрема гарантуючим і страховим організаціям	15
11.	Витрати на створення оборотного капіталу, необхідного для початку операційної діяльності (створення виробничих запасів, передоплата сировини, матеріалів і комплектуючих виробів, які мають бути поставлені на початку операційної діяльності)	16

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
12.	Податкові платежі (земельний, комунальний та інші), здійснені до початку операційної діяльності	6
13.	Оплата юридичних послуг	20
14.	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	5
15.	Витрати, пов'язані з діяльністю персоналу	5
16.		
	Разом	*482*

Таблиця 4.6 Планові загальногосподарські витрати

№ з/п	Стаття витрат	Витрати за період, тис. грн.		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Витрати на оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	**1105**	**2300**	**3200**
2.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	**1620**	**1620**	**1620**
3.	Витрати на придбання нематеріальних активів	**60**	**72**	**105**
4.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	**100**	**200**	**300**
5.	Витрати на зв'язок	**6**	**12**	**18**
6.	Витрати на паливо та електроенергію	**10,8**	**21,6**	**32,4**
7.	Витрати на водопостачання	**0,5**	**1**	**1,5**
8.	Витрати на утримання обладнання та приміщень	**1**	**2**	**3**
9.	Витрати на збут	**10**	**20**	**30**
10.	Витрати на просування та рекламу	**20**	**40**	**60**
11.	Оплата юридичних послуг	**20**	**40**	**60**
12.	Податкові платежі (земельний, комунальний податки, інші)	**5**	**10**	**15**
…				
	Разом:	**3004,7**	**4175,6**	**5515,3**

Таблиця 4.7. Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту

Вид продукції	Одиниця виміру	Обсяги виробництва за період		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
Оптико-електроний детектор дорожньої розмітки	**шт**	**5000**	**10000**	**20000**

Проаналізувавши витрати на проект та обсяги виробництва, можна зробити висновок, що в перший рік прибуток буде від'ємним, але починаючи із другого року прибуток буде додатнім.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У даному підрозділі визначаються ринкові можливості [41], які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, що можуть перешкодити реалізації проекту.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту [41], а саме наявність попиту, обсяг та динаміку розвитку ринку (табл. 4.4)

Таблиця 4.8. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	400 тис. ум. од. (станом на 2018 р.)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає до 25% (станом на 2018 р.) [42]
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Не до кінця розвинута технологія, вартість, габаритність, не оптимізованість приладу
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Електромагнітна сумісність, електробезпека, оцінка відповідності, кліматичні випробування
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

Проаналізувавши дані з таблиці 4.4, можна прийти до висновку, чи є ринок привабливим для входження. На сьогодні ринок розділень між трьома основними гравцями: Zenuiti, Aptiv, Delphi, при цьому загальний продаж складає поки що не досить велику суму, але ринок зростає. Є невеликі обмеження для входу на ринок, проте з розвитком проекту їх можна розвинути і реалізувати.

Станом на грудень 2019 р. [43] банківський відсоток на вкладення становить 10-17%, що є значно меншим за середню норму рентабельності в галузі, а саме в 3,5-6 рази. Оскільки значення середньої рентабельності є вищим, виникає сенс інвестування в даний проект.

Наступним кроком є визначення потенційних груп клієнтів [41], їх характеристики та формування орієнтовного переліку вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.9. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	**Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)**	**Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів**	**Вимоги споживачів до товару**
Обробка інформації	Автомобілебудівні компанії, автомотів компанії, аутсорс компанії, консалтингові компанії	Відмінність в допустимих похибках, які дозволено в обробці інформації	Продукція повинна мати високу швидкість передачі і обробки інформації, інформаційна ємність сигналу повинна бути висока, повинен працювати в автоматичному режимі без участі оператора, компанія повинна мати сертифікати і дозволи використання в країні споживача,

			мати патент на робочу модель (краще, щоб в країні реалізації)

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту показала, що цільовою аудиторією найбільше є компанії, які працюють з великими масивами даних, які потребують їх швидкої обробки локально на автомобілі, тобто головною потребою є саме швидка обробка інформації. Окрім цього продукт має працювати в автоматичному режимі, оскільки суб'єктивна оцінка значно знижує швидкість обробки отриманих результатів за допомогою продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози, що наведено в таблиці 4.6. Такими загрозами можуть бути фактори з різних економічних сторін, як, наприклад, в випадку з системою керування автомобілем, це соціальний, збуту, попиту та науково-технічний [41].

Таблиця 4.10. Фактори загроз

п/п	**Фактор**	**Зміст загрози**	**Можлива реакція компанії**
11	Соціальний	Використання більш популярної технології	Реклама продукту, участь у галузевих виставках
22	Збуту	Потенційні покупці є іноземними компаніями. Вихід проекту на міжнародний рівень.	Приймати участь в міжнародних виставках стартапів, конференціях, розвивати міжнародні зв'язки.
33	Попиту	З урахуванням ціни на продукт споживачі не придбатимуть товар	Покупка дешевших матеріалів, зниження точності приладу
44	Науково-технічний	Недостатня ергономічність програми	Постійна програмна підтримка продукту
45	Технологічний	Неможливість проведення процедури оцінки відповідності в інших країнах.	Написання і затвердження власного галузевого стандарту для продукту.

Основні фактори загроз пов’язані з тим, що проект є маловідомим і не здобуде популярності на міжнародному ринку. На сьогодні оптичні методи обробки інформації знаходяться в стадії розробки і більшість споживачів надає перевагу відомим і дешевшим способам обробки, які мають недоліки в швидкості і меншому об’ємі оброблених даних в одиницю часу.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (табл. 4.7).

Таблиця 4.11. Фактори можливостей

п/п	**Фактор**	**Зміст можливості**	**Можлива реакція компанії**
	Збуту	Поява компаній, що цікавляться інноваційними проектами	Зустріч та обговорення деталей по реалізації продукту клієнтам.
	Науково-технічний	Створення найбільш досконалого по можливостям приладу на сьогодні	Розробка системи для досягнення поставленої мети.
	Економічний	Отримання пільги в процедурі оподаткування на державному рівні	Зниження вартості продукту, що спричинить більший попит.
	Економічний	Зміцнення курсу гривні на міжнародному рівні	Зростання кількості партнерів для співпраці в країні.
	Міжнародний	Підвищення рівня стабільності країни в світі	Спрощення входу продукту в інші країни.

Головними можливостями даного продукту на перших етапах мають бути такі, що полегшить впровадження його на ринок, як країни, так міжнародний. Серед таких є економічні, збуту та міжнародні.

Наступним кроком [41] необхідно провести ступеневий аналіз конкуренції на ринку, що наведено в таблиці 4.8. Даний аналіз розкриває вид ринкової конкуренції та допомагає у виборі стратегії поводження на ринку.

Таблиця 4.12. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	**В чому проявляється дана характеристика**	**Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною)**
1. Олігополістична кон-куренція	Три компанії на ринку, які розподілили ринок між собою і задовольняють кожен свій сегмент ринку	При участі на галузевих виставках можливе залучення своєї частини ринку за рахунок того, що створюються нові компанії, яким було б цікаве використання даного продукту
2. Світовий рівень кон-курентної боротьби	Оскільки продукт задовольняє потреби вузької галузі, боротьба ведеться між міжнародними компаніями	Збут через міжнародні інтернет-магазини, участь в міжнародних тендерах
3. Внутрішньогалузева ознака	Задовольняє потреби вузької галузі	Вузька реклама на обрані компанії
4.Товарно-видова кон-куренція	Конкуренція між модифікаціями одного й того ж товару	Вдосконалення продукції, написання наукових статей по темі вдосконалення продукту, проведення наукових робіт, моніторинг нових ідей в цій сфері
5. Неціновий характер конкурентних переваг	Продукт удосконалюється шляхом залучення іноземних вчених та нових методів проектування	Вдосконалення продукції, написання наукових статей по темі вдосконалення продукту, проведення наукових робіт, моніторинг нових ідей в цій сфері
6. Марочна інтенсив-ність	Більші продажі у компанії Zenuiti, оскільки більш відома назва бренду	Можливо приєднання до відомого бренду з можливістю роботи під їх брендування

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку демонструє те, що існують три компанії, що виробляють схожі аналоги приладу і зайняли ринок збуту, при цьому можна виокремити одну, яка має більші продажі, в порівнянні з іншими. Проте відомо, що вартість таких приладів є висока, а наша технологія може

здешевити вартість. З огляду на таблицю 4.8, можливою дією для входу на ринок є приєднання до більш впливової компанії.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9) [41].

Таблиця 4.13. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	**Прямі конкуренти в галузі**	**Потенційні конкуренти**	**Постачальники**	**Клієнти**	**Товари-замінники**
	Zenuiti, Aptiv, Delphi	Виробники мікропроцесорів, використання загальновідомих технологій	Відомість, велика вартість	Необхід-ність в великій обробці даних	Дешевша вартість продукції
Висновки:	На ринку України аналоги не представлені. Компанії Zenuiti, Aptiv, Delphi представлені на міжнародному рівні, але продукція-аналог не сертифікована на теренах України	- можливість входу на ринок існує за наявності дозволів і сертифікатів використання та патентів - потенційні конкуренти – загальновідомі компанії на міжнародному ринку. У конкурентів товар вже знаходиться на ринку.	Підняття вартості продукції	Виконання строгих вимог по швидкості обробки інформації	Обмеження для роботи на ринку через товари замінники

З огляду на аналіз, представлений в таблиці 4.9, можна прийти до висновку, що на ринкові України аналогічна продукція не представлена, оскільки не проходила сертифікацію та не має офіційної підтримки. Це дає змогу вільного входу на державний ринок без зниженої вартості приладу.

Проте при входженні на міжнародний рівень необхідно враховувати те, що компанії є відомими та конкурентоспроможними, конкурувати на ринку за допомогою якості та можливостей приладу.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [41]. Головними чинниками продукту є не завищена ціна, автоматизованість приладу, простота в експлуатації та підвищені можливості в швидкості обробки даних з використанням меншої кількості енергії.

Таблиця 4.14. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	**Фактор конкурентоспроможності**	**Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)**
1	Вартість	Не завищена, конкурентна ціна
2	Простота в експлуатації	Повністю автоматизований продукт, необхідна повірка обладнання 1 раз в рік
3	Підтримка продукції	Технічна підтримка продукту, можливість ремонту та
4	Довіра споживачів	Рейтинг компанії
5	Швидкість обробки	Більша швидкість роботи приладу з меншими затратами енергії

Фактори конкурентоспроможності показали, що даний проект має право на життя. На сьогодні, пристрій з такими можливостями є затребуваним. Окрім цього, не завищена вартість може скласти конкуренцію відомим компаніям. Головним фактором вибору приладу є висока швидкість обробки інформації, при цьому затрати енергії (в порівнянні з аналогами) є значно меншими.

Таблиця 4.15. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Телевізійна система керування автомобілем»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Zenuiti						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Вартість	18	0	0	0	0	0	+	0
2	Простота в експлуатації	10	0	0	0	+	0	0	0
3	Підтримка продукції	10	0	0	0	+	0	0	0
4	Довіра споживачів	8	0	0	+	0	0	0	0
5	Швидкість обробки	12	0	0	0	0	+	0	0

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту «Телевізійна система керування автомобілем» в порівнянні з аналогом головного конкурента Zenuiti продемонстрував, що головною сильною стороною проекту є вартість приладу. Також можна відмітити незначну перевагу у швидкості обробки даних. Але компанія Zenuiti знаходиться досить давно на ринку, що вказує на більшу довіру з боку споживачів. Ергономічність, простота в експлуатації та технічна підтримка приблизно однакова між спроектованим приладом та аналогом конкурентів.

Таблиця 4.16. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Ціна на 30% нижче ніж у найближчого конкуренту. 2. Зручне та просте керування, що супроводжується відео інструкціями у комплекті. 3. Менші габаритні розміри продукту.	**Слабкі сторони:** 1. Необхідне значне інвестування для старту, близько 500 тис $. 2. Невідома у світовій спільноті, не визнана торгова марка.
Можливості: 1. Поява міжнародних інвесторів, зацікавлених у подальшому розвитку проекту.	**Загрози:** 1. Новий метод, ще не сильно набувший популярності у світі, вчасності і в Україні. 2. Недостатня ергономічність програми.

2. За рахунок вдосконалення, створення найякіснішого продукту на ринку. 3. Збільшення попиту на товари, які використовують технології даного типу. 4. Зростання кількості партнерів для співпраці, спрощення процедури розповсюдження продукту на світовому ринку.	3. Важкість виходу на міжнародний ринок. 4. Більша вартість технології в порівнянні з альтернативними. 5. Неможливість проведення процедури оцінки відповідності в інших країнах.

Провівши SWOT-аналіз на основі ринкових загроз і можливостей (табл. 4.12) [41] можна проаналізувати сильні і слабкі сторони проекту, а також можливості та загрози, пов’язані з реалізацією проекту в цілому. Сильною стороною проекту є вартість приладу, його простота в експлуатації, підвищена точність та зменшені габаритні розміри. Слабкою – необхідність в подальших дослідженнях та те, що продукт не є відомим, тим самим підвищуючи необхідне інвестування для старту проекту. Можливості і загрози, наведені в таблиці 4.12 є вірогідними результатами впливу факторів, які могли б статися. Використання більш популярної і менш вартісної на сьогодні технології є фактором загрози, але вільне входження на ринок без достатньої кількості конкурентів – можливістю.

Таблиця 4.17. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	**Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки**	**Ймовірність отримання ресурсів**	**Строки реалізації**
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	50%	3-4 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	80%	2-3 роки
3	Стратегія виходу з ринку	20%	1-2 роки

Відповідно до таблиці 4.13 на базі SWOT-аналізу (табл. 4.12) було розроблено альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту [41], а саме комплекс заходів поведінки на ринкові і строки на їх реалізацію. Основною стратегією є компенсація слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями, яке з інвестиціями можливо реалізувати за 2-3 роки. Окрім цього можна вибрати стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу, що має більший строк реалізації, але й отримання вигоди зменшиться до 50%.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

У даному підрозділі розглянуто розроблення ринкової стратегії проекту, а саме визначення стратегії ринку та опис цільових груп потенційних споживачів [41].

Таблиця 4.18. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	**Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів**	**Готовність споживачів сприйняти продукт**	**Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)**	**Інтенсивність конкуренції в сегменті**	**Простота входу у сегмент**
1	Автомобілебудівні компанії	Потреба в продукції зростає з кожним роком	500 приладів/рік	Висока	Доволі просто
2	Автомотів компанії	Потреба в продукції зростає з кожним роком	500 приладів/рік	Висока	Доволі просто
3	Аутсорсингові компанії	Потреба в продукції зростає з кожним роком	1000приладів/рік	Висока	Доволі просто
4	Центри обробки даних	Потреба в продукції зростає з кожним роком	250 приладів/рік	Висока	Доволі просто

Які цільові групи обрано: автомобілебудівні компанії, автомотів компанії, аутсорсингові компанії, центри обробки даних

За результатами аналізу потенційних груп споживачів, потенційними цільовими групами споживачів було обрано наступні: автомобілебудівні компанії, автомотів компанії, аутсорсингові компанії, центри обробки даних. Всім цим цільовим групам необхідні переваги, які є в даному проекті, а саме швидка обробка великих масивів даних без специфічних підлаштовувань під кожну з них та мобільність пристрою.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15) [41].

Таблиця 4.19. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	**Обрана альтернатива розвитку проекту**	**Стратегія охоплення ринку**	**Ключові конкурен-тоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи**	**Базова стратегія розвитку**
1	Створення нового типу приладу	Масового маркетингу	Довіра до бренду, відповідна ціна, кращі показники роботи, більша швидкість обробки даних.	Стратегія диференціації
2	Створення програмного забезпечення			

Провівши аналіз потенційних цільових груп в таблиці 4.14, було вирішено, що потреби у них співпадають, тому розробляти для кожного сегмента програми ринкового впливу не буде доцільним. У зв’язку з цим було прийняте рішення обрати за стратегію охоплення ринку стратегію масового маркетингу, яка пропонує всім сегментам прилад зі стандартизованими параметрами та характеристиками. За базову стратегію розвитку проекту було обрано стратегію диференціації, оскільки головною перевагою приладу є не лише вартість, але й властивості товару, а також відповідність ціна/якість.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки [41], що наведено в таблиці 4.16.

Таблиця 4.20. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так. На ринку України це перший подібний прилад.	Забирати існуючих у конкурентів та по можливості шукати нових.	Ні. Буде покращення існуючих прототипів.	Стратегія зайняття конкурентної ніші.

Під час вибору стратегії конкурентної поведінки було розглянуто такі питання, як копіювання характеристик товарів конкурента та пошук споживачів на ринкові. У зв’язку з цим основною стратегією конкурентної поведінки було обрано стратегію зайняття конкурентної ніші. В такому типі стратегій обирається декілька невеликих сегментів, в даному разі передбачається виробництво не більше 150-ти приладів за рік, і при цьому мати доволі значний прибуток. Головною ціллю в даній стратегії буде постійна підтримка своєї переваги перед конкурентами та формування прихильності споживачів до створеного приладу.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціювання [41], яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (табл. 4.17).

Таблиця 4.21. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Висока швидкодія, високі параметри сигнал/ шум,	Стратегія спеціаліза-ції	Використання нових комплектуючих, оптимізація параметрів пристрою, створення ергономічного програмного забезпечення.	Висока швидкість, якість, ергономічність, мобільність

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Метою даного підрозділу є розробка маркетингової програми стартап-проекту [41], що включає в себе план заходів із ознайомлення цільової аудиторії з ідеєю проекту, просування його на ринок для підвищення зацікавленості та прихильності потенційних споживачів.

Першим кроком в розробці маркетингової програми є розробка маркетингової концепції товару [41], який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.22. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар/метод	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Великі масиві даних	Паралельна обробка даних	Дані можна подавати у тривимірному вигляді
2	Швидкість обробки інформації	Висока швидкість обробки інформації	Швидкість обробки інформації більша в 20-30 разів за існуючі зараз аналогічні прилади
3	Дешевизна	Товар вітчизняного виробництва	Значно дешевший, ніж у закордонних аналогів
4	Ергономічність	Доступність новим користувачам	Детальний опис приладу і програми в інструкції до користування, програма розуміється користувачем на інтуїтивному рівні

Головними потребами споживачів є обробка великих масивів даних при високій швидкості обробки інформації. Для цього даний проект пропонує використання спрощеного цифрового методу обробки інформації, в якому дані можна представляти у вигляді двомірного масиву, який може паралельно оброблювати його з великою швидкістю з великою точністю. Окрім цього, даний проект характеризується дешевою вартістю в порівнянні з аналогами конкурентів та ергономічним програмним забезпеченням, яке зрозуміле на інтуїтивному рівні, мобільністю.

Таблиця 4.23. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	**Сутність та складові**		
I. Товар за задумом	Прилад має слугувати для локалізації автомобіля на дорозі відносно розмітки та корекції помилкових дій водія.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Фокусна відстань	м	тл
	2. Швидкість передачі даних	нм	тх
	3. Ціна	м	е
	4. Відношення сигнал/шум	нм	тх
	5. Надійність	м	тх
	Якість: якісний, галузевий стандарт, відносна похибка +-5%		
	Пакування: електронне пакування, диск з програмним забезпеченням, інструкція користувача, гарантійний талон від виробника		
	Марка: LaneDet		
III. Товар із підкріпленням	До продажу не потребує особливих вимог		
	Після продажу підтримка клієнта протягом 5 років		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок комерційної таємниці			

Відповідно до опису трьох рівнів моделі, наведеного в таблиці 4.19, було визначено основний задум товару, найважливіші характеристики, які мають бути у товару, підтвердження його якості, тип пакування та впродовж якого часу буде його підтримка. Також головним є визначення, за рахунок чого товар буде захищено від копіювання. В випадку даного проекту за рахунок комерційної таємниці. Вимогами до використання є нормальні температури та не великий рівень вібрацій.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар [41], це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.24. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	500-1000 $	15-50 тис $	1-2 млн $/рік	10-30 тис. $

При розробці таблиці 4.20 було визначено межі, в яких після детального аналізу можна встановити ціну на товар, що знаходиться в розробці. Оскільки цільовими групами є не фізичні особи, а компанії, їх доходи оцінюються приблизно в 1-2 млн. $. Товарами-замінниками зараз є електронні процесори, ціна яких не перевищує 1000 $, проте аналоги коштують 15-50 тис. $. Виходячи з цього, ціну на товар можна поставити у межах 10-30 тис. $.

Таблиця 4.25. Формування системи збуту

п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	В даному сегменті закупівля відбувається напряму з виробником	- Пошук потенційних клієнтів - Аналіз ринку потреб - Реклама	Канал нульового рівня	Тендерні торги, через мережу Інтернет

Оскільки як технологія, так і товар є новими на ринку, пошук споживачів буде відбуватися під час галузевих виставок, де буде представлений сам товар та фахівці з відділу розробки. Продаж самого товару буде відбуватися або через тендерні торги, або використовуючи мережу Інтернет, тому канал збуту був обраний нульового рівня, що має на увазі продаж безпосередньо від виробника клієнту.

Таблиця 4.26. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти цікавляться новинками у сфері, ходять на наукові конференції та галузеві виставки для пошуку нових технологій, що забезпечать необхідні показники	Статті, галузеві виставки, інтернет-мережа	Інтернет-маркетинг, таргетована реклама, участь у галузевих виставках, написання наукових статей	Презентація товару клієнту, виклик зацікавленості у клієнта	«Смуга руху – смуга життя»

Оскільки клієнти зацікавлені в новинках, представники компаній займаються пошуком потенційних нових гравців на ринкові, прилади яких можуть дати кращі показники, в порівнянні з аналогами. У зв’язку з цим для позиціонування даного проекту можна використовувати як наукову складову, а саме написання наукових статей, так і участь у галузевих виставках, та виставках стартап-компаній. Окрім цього можна залучати і таргетовану рекламу у мережі Інтернет.

Висновки до розділу 4

В підсумку, можна підвести, що продукт зацікавить організації, що пов’язані з обробкою великих масивів інформації в обмежені строки, тобто, які зацікавлені не естетичними якостями, а показниками роботи. Розроблений продукт використовує досить нову технологію, яка дозволяє підвищити швидкості обробки та передачі інформації, збільшити об’єми інформації, які можуть оброблюватися за одиницю часу та значно підвищити точність обробки.

Відповідно до аналізу конкуренції ринку, було встановлено, що наразі ринок, в якому позиціоновано даний продукт, розвивається і є доволі рентабельним, тобто, з великою ймовірністю, інвестування в проект можливе. Проте продуктом більше зацікавлені на міжнародному ринку, оскільки аналоги користуються попитом в країнах з більш розвиненими інформаційними технологіями. Враховуючи, що вартість продукту в порівнянні з конкурентами нижча на 30%, вхід на ринок країни не буде ускладненим. Проте, оскільки прилад відноситься до інформаційно-вимірювального типу, для сертифікованої роботи на території країни необхідні дозволи у вигляді сертифікації в установах, що спеціалізуються на перевірці відповідності приладів, що може ускладнити швидкий вихід на ринок.

Для ринкової реалізації було обрано стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями, що дозволить отримати більшу вигоду за коротший строк, в порівнянні з іншими можливими стратегіями.

В результаті розроблення даного розділу було виконано його головне завдання, що полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації проекту «Телевізійна система керування автомобілем», оцінювання можливостей його ринкового впровадження. Також відбулося оцінювання ринкових перспектив і можливостей виходу на ринку науково-технічної розробки , розробка

концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

ВИСНОВКИ

Задачею даної магістерської дисертації було підвищення ефективності телевізійної системи керування автомобілем. Задля цього було проведено аналіз оптичних систем обробки інформації і методів цифрової зображень та доцільність створення даного приладу. Наразі існують більш простіші масово поширені системи керування автомобілем, однак для вирішення поставлених задач їх собівартість та час розробки підвищується в рази. Однак, з використанням основ цифрової обробки можлива швидка і точна обробка інформації. Було запропоновано об’єднати переваги оптичних об’єктивів і цифрових методів обробки зображень в одному приладі, який компенсує недоліки існуючих методів, використовуючи лише переваги.

Було розглянуто існуючі методи цифрової обробки зображень задля детектування та локалізації дорожньої розмітки, яка надалі може використовуватися як в AD системах, так і в ADAS системах. Було встановлено, що існуючі методи недостатньо швидкі та точні, потребують специфічного оточення. На ринку існують лише моделі, які інтегруються на базі проектування в конкретний автомобіль, універсальних рішень не існує.

В розділі 2 було досліджено фізико-математичну модель телевізійної системи керування автомобілем та запропоновано використання оптимізованого атермального об’єктиву задля отримання найкращого зображення при змінах температури, що є актуальним для автомобільної промисловості.

Відповідно до фізико-математичної моделі було надано рекомендації щодо використання кожного з підходів для локалізації дорожньої розмітки та проведено аналіз ефективності кожного з них. Проведено розрахунок атермального об’єктиву для даної системи. Розроблено алгоритм калібрування камер, які формують зображення, детектування та локалізації дорожньої розмітки різними підходами.

У 4 розділі проведено розробку стартап-проекту, в якому проаналізовано маркетингові перспективи реалізації даного проекту, а також приведено оцінку можливостей впровадження алгоритму та приладу на ринок. Зроблено оцінку ринкових перспектив і можливостей виходу на ринок науково-технічної новизни, розроблен концепцію стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bayerische Motoren Werke AG (BMW), \Adaptive cruise control," BMW Technology Guide, 2011. [Online]. Available: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology guide/articles/active cruise control.html

2. European New Car Assessment Programme, \Reward 2010 - opel eye," Euro NCAP Advanced, 2010. [Online]. Available: http://www.euroncap.com/rewards/opel eye.aspx

3. M. Aly, \Real time detection of lane markers in urban streets," Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 712, 2008

4. C. Paukert, \REPORT: NHTSA to mandate lane departure warning and auto-brake systems?" Autoblog, 2009. [Online]. Available: http://www.autoblog.com/2009/07/03/report-nhtsa-to-mandate-lane-departure-warning-and-auto-brake-s/

5. B. Lamprecht, S. Rass, S. Fuchs, and K. Kyamakya, \Extrinsic camera calibration for an on-board two-camera system without overlapping field of view," Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 265-270, 2007.

6. C. Jung and C. Kelber, \A lane departure warning system using lateral o set with uncalibrated camera," in IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 348-353.

7. Pixim: Digital Pixel System Technology," 2011. [Online]. Available:

http://www.pixim.com/products-and-technology/technology

8. N. Zheng, S. Tang, H. Cheng, Q. Li, G. Lai, and F. Wang, \Toward intelligent driver-assistance and safety warning system," IEEE Intelligent systems, vol. 19, no. 2, pp. 8-11, 2004.

9. World Health Organization, \Global status report on road safety 2009," Violence and Injury Prevention and Disability (VIP), 2011. [Online]. Available: http://www.who.int/violence injury prevention/en/

10. K. D. Kochanek, J. Xu, S. L. Murphy, A. M. Mini^no, and H. C. Kung, \Deaths: Preliminary Data for 2009," National Vital Statistics Reports, vol. 59, no. 4, pp. 1-51, 2011.

11. National Highway Traffic Safety Administration, \FARS Encyclopedia," Fatality Analysis Reporting System (FARS). [Online]. Available: http: //www-fars.nhtsa.dot.gov/

12. G. Jacobs, A. Aeron-Thomas, and A. Astrop, Estimating global road fatalities. Transport Research Laboratory, 2000.

13. Mobileye, \Mobileye C2-170," 2011. [Online]. Available: http://mobileye.com/

14. Iteris, \Iteris Vehicle Sensors: Lane Departure Warning," 2007. [Online]. Available: http://www.iteris.com/

15. A. Borkar, M. Hayes, and M. Smith, An efficient method to generate ground truth for evaluating lane detection systems," Proceedings of the IEEE Interna-tional Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, pp. 1090-1093, 2010.

16. Bayerische Motoren Werke AG (BMW), Lane departure warning," BMW Technology Guide, 2011. [Online]. Available: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/drive assistance/lane departure warning information.html

17. Lane change warning," BMW Technology Guide, 2011. [Online]. Available:http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/drive assistance/lane change warning.html

18. Mobileye, \Mobileye binary headlamp contol," Mobileye Applications, 2011. [Online]. Available: http://mobileye.com/technology/applications/head-lamp-control/binary-headlamp-contol/

19. Federal Highway Administration, Manual Uniform Traffic Control Devices," http://mutcd.fhwa.dot.gov/, Nov. 2009.

20. M. Bertozzi and A. Broggi, \Gold: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 7, no. 1, pp. 62{81, 1998.

21. M. Aly, \Real time lane detection in urban streets," http://www.vision.caltech.edu/malaa/research/lane-detection/, 2011.

22. R. O. Duda and P. E. Hart, \Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures," Communications of the ACM, vol. 15, no. 1, pp. 11-15, 1972.

23. M. A. Fischler and R. C. Bolles, \Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.

24 A. Borkar, M. Hayes, and M. T. Smith, \Lane Detection And Tracking Using A Layered Approach," Proceedings of the Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, pp. 474-484, 2009.

25. G.Homann, \Luminance Models for Grayscale Conversions," pp. 1-11, 2002.

26. A. Borkar, M. Hayes, and M. T. Smith, \Robust lane detection and tracking with ransac and Kalman lter," Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, pp. 3261-3264, 2009.

27. E. Johnson and R. Hamburger, \Inverse Perspective Mapping: CS5320/6320 Computer Vision Project," College of Engineering, University of Utah, Tech. Rep., 2007.

28. E. R. Davies, Machine Vision : Theory, Algorithms, Practicalities, 3rd ed. Morgan Kaufmann, 2004.

29. A. Borkar, M. Hayes, M. T. Smith, and S. Pankanti, \A Layered Approach To Robust Lane Detection At Night," Proceedings of the IEEE Workshop on Computational Intelligence in Vehicles and Vehicular Systems, pp. 51-57, 2009.

30. J. P. Lewis, Fast normalized cross-correlation," Proceedings of the CIPPRS Vision Interface, pp. 120-123, 1995.

31. A. Bradley, The use of the area under the roc curve in the evaluation of machine learning algorithms," Pattern Recognition, vol. 30, no. 7, pp. 1145-1159, 1997.

32. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd ed. Prentice Hall, 2002.

33. M. H. Hayes, Statistical Digital Signal Processing and Modeling. John Wiley and Sons, 1996.

34. D. Simon, Kalman ltering," Embedded Systems Programming, vol. 14, no. 6, pp. 72-79, 2001.

35. A. Borkar, M. Hayes, and M. T. Smith, \Detecting Lane Markers In Complex Urban Environments," Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, pp. 727-732, 2010.

36. Intel Corporation, \Intel Core 2 Quad Processors," 2011. [Online]. Available: http://www.intel.com/products/processor/core2quad/

37. Microsoft, \Windows XP," 2011. [Online]. Available: http://windows.microsoft.com/en-US/windows/products/windows-xp

38. International Telecommunication Union, \Rec. ITU-R BT.601-7: Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios," 2011.

39. J. Canny, A computational approach to edge detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, no. 6, pp. 679-698, 1986.

40. A. Borkar, M. Hayes, and M. T. Smith, \A Template Matching and Ellipse Modeling Approach to Detecting Lane Markers," Proceedings of the Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, pp. 179-190, 2010.

41. Колобродов В.Г., Тимчик Г.С. Прикладна дифракційна оптика / Підручник.– К.: НТУУ «КПІ», 2014.– 312 с.

42. Матвеев А. Н. Оптика: учеб. пособ. для физ. вузов / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1985. – 351 с.

43. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студен-тів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

44. Сардак С. Е. Дослідження структури і тенденцій розвитку світового ринку інформаційних технологій / С. Е. Сардак, А. В. Ставицька. // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №4/5(24). – С. 96-100.